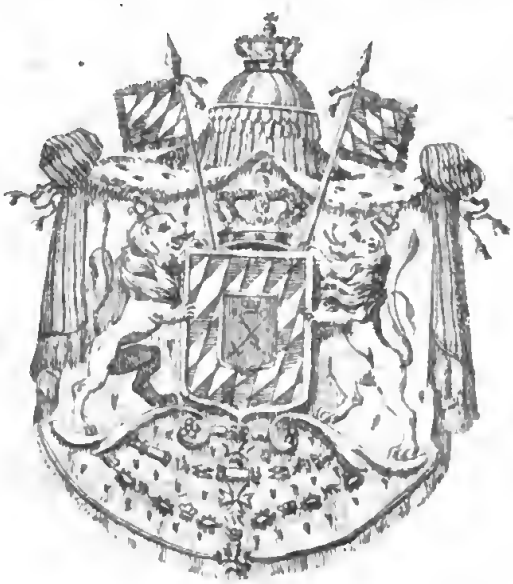
Phys. Sp. Frankenheim (M. C.)
227m



BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

<36630642820010 S

<36630642820010

Bayer. Staatsbibliothek

Die Lehre

von der

Cohäsion,

umfassend

die Elasticität der Gase, die Elasticität und Cohärenz der flüssigen und festen Körper und die Krystallkunde,

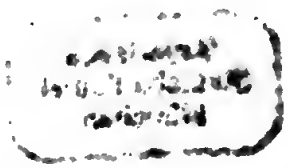
nebst

vielen neuen Tabellen über alle Theile der Cohäsionslehre, in's besondere über die Elasticität und die Festigkeit.

Von

M. L. Frankenheim,

außerordentlichem Professor an der Universität von Breslau.



Breslau,

bei August Schulz und Comp.

1835.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Gedruckt bei Leopold Freund.

Sr. Excellenz

dem

Herrn Freiherrn

Stein von Altenstein,

Königl. Preuß. wirklichem geheimen Staatsminister, Chef des hohen Ministeriums der geistlichen, Unterrichts- und Medicinal-Angelegenheiten, Ritter des Schwarzen Adler-Ordens und andrer hohen Orden.

Vorrede.

Die Cohäsionslehren sind noch nicht selbstständig behandelt, sondern in einer Menge einzelner Abhandlungen zerstreut. Die Thatsachen fest zu stellen, systematisch zu ordnen, die Lücken so viel möglich durch eigne Untersuchungen auszufüllen, die Gesetze zu entwicklen und der Cohäsion eine Stelle neben den übrigen Haupttheilen der Physik, z. B. der Optik, der Elektricität, zu verschaffen, war das Ziel, das ich bei der Abfassung dieser Schrift vor Augen hatte. Diesem suchte ich mich auch auf folgende Weise zu nähern.

Erstlich durch eine möglichst vollständige Mittheilung des Thatsächlichen. Diese Vollständigkeit besteht jedoch nicht in einer Aufzählung aller Beobachtungen. Was schon durch ein Gesetz zusammengefaßt war, betrachtete ich als eine Thatsache. Wenn z. B. die allgemeine Gravitation zur Cohäsion gehört hätte, so würde ich bloß die newtonschen Gesetze mitgetheilt haben; auf die Modification aber, welche sie bei den Kometen oder bei dem Falle der Körper auf der Erde erleidet, nicht eingegangen sein. Dagegen habe ich alle von einander unabhängigen Beobachtungen, wenn sie einiges Licht über die Cohäsion verbreiten konnten, angeführt.

Zweitens habe ich über alle Cohäsions-Erscheinungen, die einer quantitativen Bestimmung fähig waren, die Zahlenwerthe mit aller Sorgfalt berechnet. Die Tabellen in den Handbüchern rühren ursprünglich von den mittlern Werthen her, welche die Beobachter selbst gegeben haben, und die man zuweilen auf andre Einheiten reducirt, gewöhnlich aber auf eine unkritische Weise, oft aus sehr unlauteren Quellen compilirt hat. Jene mittleren Werthe selbst konnten, wenn man sie nach den Methoden der neueren Physik berechnete, berichtiget und durch eine passende Anordnung manches Resultat abgeleitet werden, das den Beobachtern selbst entgangen war. Ich bin daher überall, wo meine Mittel ausreichten, zu den Originalangaben selbst zurückgegangen und habe diese nach den besten Formeln berechnet. Wenn ich mir auch nicht schmeicheln darf, alle Fehler vermieden zu haben, so darf ich doch hoffen, daß ihre Anzahl geringer ist, als in den ältern, überdieß weit weniger vollständigen Tabellen. In der Cohärenz des Flüssigen beruht die Tabelle größtentheils auf meinen eigenen Beobachtungen. Auch für sämmtliche natürliche und künstliche Krystalle hatte ich die krystallographische Charakteristik entworfen; aber durch den Raum, den ich nicht überschreiten durfte, beschränkt, war ich verhindert, sie abdrucken zu lassen. Sie werden an einem andren Orte erscheinen.

Drittens suchte ich die Gesetze der Erscheinungen anzugeben. Wo man sich auf quantitativ genaue Angaben stützen kann, ist diese Aufgabe verhältnißmäßig leicht; wo man es nicht kann, da ist das Gebiet der Hypotheſen. Ich habe es oft betreten. Die physikalischen wie die historischen Thatsachen gewähren, wenn sie ganz isolirt stehen, nur ein untergeordnetes Interesse; sie erlangen dieses nur durch ihre Verbindung mit andren Erscheinungen, und dieses Band giebt uns die Hypotheſe. Die Hypotheſen, die ich in diesen Blättern ausgesprochen habe, sind jedoch nicht einzelne Einfälle, die unabhängig von einander stehen und fallen können; sie gehen sämmtlich aus einer Grundansicht hervor, der sie näher oder ferner stehen. Der Grad von Wahrscheinlichkeit ist daher auch sehr verschieden und kommt bald demjenigen nah, welcher sich bei den Gesetzen der Attraction oder der Zusammensetzung des weißen Lichtes findet, bald sinkt sie zur bloßen Möglichkeit herab. Sie sind jedoch sämmtlich einer quantitativ genauen Bestimmung fähig und können durch Beobachtungen leicht unterstützt oder widerlegt werden. Kein Physiker kann in Beziehung auf seine Hypotheſen skeptischer sein als ich, und mit gleichem Vergnügen werde ich sie widerlegt oder bestätigt sehen, wenn dadurch die Wissenschaft gewinnt.

Die Cohäsion ist daher hier auf eine Weise behandelt, welche von der in den Handbüchern über andre Zweige der Physik üblichen sehr abweicht. In diesen sucht man alle Theile gleichförmig zu behandeln; man will ein gewisses Quantum der bisherigen Untersuchungen geben, dessen absolute Größe zwar verschieden ist nach den Gesichtspuncten der Verfasser, dessen Verhältniß sich aber in verschiedenen Abschnitten nicht ändert. In diesem Sinne ist dieses Buch höchst ungleichförmig bearbeitet. Grade denjenigen Abschnitten, mit denen man sich viel beschäftigt hat, sind hier nur wenige Paragraphen gewidmet, z. B. der formellen Krystallographie, der Schwingung elastischer Körper, den vielartigen Modificationen, welche die Cohärenz der Flüssigen in benetzten Gefäßen darbietet. Dagegen habe ich die bisher vernachlässigten Theile mit größerer Aufmerksamkeit behandelt. Wer Neues am Himmel entdecken will, der muß, wenn er keine besseren Werkzeuge hat als seine Vorgänger, unbekannte Regionen durchsuchen. Schärfere Organe stehen mir nicht zu Gebote, so suche ich denn unbekanntere Erscheinungen auf und oft findet man hier den Schlüssel zu denen, die man genauer zu kennen glaubte. Den von mir ausführlicher behandelten Theilen habe ich eine historische Skizze vorangeschickt und ihre Literatur ziemlich vollständig angegeben. In der Geschichte gebe ich nur die Hauptzüge der Entwicklung und in den Citaten, die ich alsdann, um Raum zu ersparen, an dem Ende der Abschnitte zusammengestellt habe, erlaube ich mir wohl ein

Urtheil über den literarischen Charakter der Physiker. Diese Urtheile sind zuweilen nicht schonend. Man ist in der Wissenschaft, was den Nachruhm betrifft, gewöhnlich sehr milde gesinnt, man glaubt den panegyrischen Gedächtnißreden der Ueberlebenden, und die größte Strafe, die man verhängt, ist das Vergessen. Vielleicht folgen diejenigen, welche sich mit ähnlichen Arbeiten über andre Theile der Physik beschäftigen, meinem Beispiele und bahnen dadurch dem Geschichtschreiber, den auch die Physik einst finden wird, den Weg und erleichtern dem Literarhistoriker sein Geschäft, der gewöhnlich in sehr abweichende Studien eingeweiht, ganz ohne Mittel ist, sich ein richtiges Urtheil über die Geschichte der Physik und die Leistungen der Physiker zu bilden. Ueber Lebende habe ich meine Meinung fast niemals ausgesprochen. Glaubte ich auch selbst sine ira et studio zu sein, so konnte es doch leicht bei denen fehlen, die es betraf.

So übergebe ich denn diese Blätter dem Publicum und rechne auf die Nachsicht, die ein erster Versuch auf einem dunklen, schwierigen Gebiete zu finden pflegt.

Breslau im März 1835.

In diesem Buche sind als Temperatur-, Raum- und Gewichts-Einheiten die französischen Decimalmaße und der Druck der Atmosphäre bei 0° und 760 Mm. angenommen.

Es ist der atmosphärische Druck auf

1 Quadr. Centimeter	= 1031,3	Gramme	Log.	=	3,0134
„ pariſ. Zoll	15,44	Pfund franz.			1,1886
„ „ Linie	0,1072	„ „			0,0302—1
„ engl. Zoll	14,67	„ engl.			1,1664
„ rhein. Zoll	15,08	„ preuß.			1,1783
„ „ Linie	0,1047	„ „			0,0200—1
„ „ Zoll	14,30	„ amſterd.			1,1552
„ öſterr. Zoll	12,78	„ öſterr.			1,1065
„ „ Linie	0,887	„ „			0,9481—2
„ ſchwed. Lin. Dec.	534,7	Milliontel Schiffspf.			0,7271—4

Zusätze und Verbesserungen.

S. 4, 8 f. Ausbildung l. Ausbreitung.
10, 7 f. wachsender l. verschiedener.
15, 16 Mischungsgericht l. Mischungsgewicht.
34, 20 nach Glase setze: oder in einem Krystall.
37, 8 l. Mitchell. S. 37, 23 st. 1931 l. 1831.
42, 4 l. P : ϱ. S. 42, 11 bei Wasser f. 95200 l. 59200.
42, 21 bei Ammoniak f. „ „ l. Collad. u. Sturm.
62, 11 f. Verbreitung l. Ausbreitung.
62, 2 v. u. f. Sterno l. Stereo.
77, 5 v. u. f. Millimeter l. Milliontel.
79, 10 f. $6^0,5$ l. $16^0 5$.
80, Im Zinnchlorid habe ich seitdem D = 2,70 etwa
„ Chlorschwefel „ „ 4,94 gefunden.
83, 9 f. 634 l. 684. 83, 13 f. cohäsiv l. physisch.
91, 1 f. Wellaston l. Wollaston.
91, 18 hinzuzufügen: Kreosot (Marx) 1,383. 388. 512.
161, 1 hinzuzufügen: Pogg. Annal. 1830. IX. p. 120.
213, 1 v. u. l. für die Theorie.
239, 17 f. Berechnung l. Bestimmung.
395, 11 hinter Natron l. (Berzelius)
400 zwischen Z. 15–16. Metallmoore werden gebildet, wenn man auf der Rückseite eines verzinnten Eisenblechs einen glühenden Kolben bringt. Es entstehen dadurch Figuren, welche mit Salpetersäure sichtbar gemacht werden, aber weit über die geschmolzene Stelle hinausgehen, ein Beweis, daß auch hier innere Bewegung ist. Schwarz Gilb. Annal. LXIV. p. 284) Altmütter (ibid. p. 292).
405, 1 v. u. hinzuzufügen: Goldblättchen sintern in schwacher Glühhitze zusammen (Buchner).
422, 16 Nach Altmütter (Gilb. Annal. LXIV. p. 292) kann das Blei durch ein Hammerschlag an einzeln Stellen körnig werden.
436, 19 l. n = 10. Q = 3,721.
440, 6 v. u. f. $Q_I : S$ l. Q : S.
440, 3 v. u. f. 240 l. 241. S. 440, 1 v. u. f. 277 l. 276.
443, 20 f. 1,775 l. 2,775.
443, 21 u. 22 vor 637 u. 549 stelle 2,
446, 5 f. 4,861 l. 1,861. S. 448, 26 f. 708 l. 3,708.
477, am Ende des §. Stahl und Silber geben geschmolzen ein homogenes Gemisch. Erstarrt dieses, so werden reine Silberkugeln aus der Masse ausgepreßt, und wenn ein solcher Stab geschmiedet wird, so ist das Silber durch die Masse in zarte, einige Mm. lange und stark an das Eisen haftende Fasern vertheilt (Faraday Ph. Magaz. LVI. 31).

Inhaltsanzeige.

Einleitung p. 1.
Atomiſtik und Dynamik 1; Aggregatzuſtände 4; Verbindungen, chemiſch, phyſiſch, mechaniſch 9; Cohäſion 12; Eintheilung 14.
Erſter Theil. Elaſticität der Gaſe p. 16.
I. Gleichgewicht der Gaſe 16.
Das mariottiſche Geſetz 17; Laplace's Geſetz über Compreſſibilität 19.
II. Ausfluß der Gaſe 21.
III. Diffuſion der Gaſe, Gasgemiſche 24. Daltons Geſetz 24. Grahams Geſetz 32.
Zweiter Theil. Elaſticität d. flüſſigen Körper p. 37.
Compreſſion 38. Schwingungen 45.
Dritter Thl. Cohärenz d. flüſ. Körper p. 46. Geſchichte.
Erſter Abſchnitt. Cohärenz im Gleichgewichte p. 58.
I. Beſtimmuug der Größe der Synaphie 62
Beobachtungsweiſe 67. Beobachtungen 70. Einfluß d. Temperatur 85. Verhältniß zu andren Naturkräften 87.
II. Veränderungen in d. Lage eines Flüſſ., welches einen feſt. Körper benetzt 93. Enge Kanäle 93. Tropfen 95. Zwiſchenſchicht 100. Halbflüſſiges 103. Dunſt 107.
III. Prosaphie eines Flüſſ. an einen nicht benetzten feſten Körper 111. Queckſilber und Glas 112. Benetzende Flüſſigkeiten 118. Temperatur 122 (leidenfroſt'ſcher Verſuch 123).
IV. Ausbreitung d. Flüſſigkeit auf d. Oberfläche eines Körpers 134. Tropfenbildung 134. Reihenfolge 139. Sieden 143. Bewegungen 146. Beruhigung der Wellen 148.
Zweiter Abſchnitt. Cohärenz im Conflict der Aggregatzuſtände p. 153.
I. Einfluß d. Berührung heterog. Körp. auf d. Aggregatzuſtände 153.
A. Berührung an der äußern Fläche 153.
B. Berührung an d. Wänden d. innern Kanäle, Adſorption 157. Adſorption von Flüſſigem 158. Adſorpt. von Dämpfen 166. Adſorpt. von Gaſen 185. Chemiſcher Proceß dabei 190.
II. Einfluß phyſiſcher Verbindungen auf die Aggregatzuſtände 196.
A. Auflöſung zweier Flüſſigkeiten in einander 197.
B. Phyſ. Verbindung eines Feſt. u. eines Flüſſ. od. zweier Feſten 200.
C. Phyſ. Verb. eines feſten u. eines gasförm. Körp., Inſorption 202.
Dritter Abſchnitt. Cohär. bei der Beweg. von Flüſ. p. 205.
I. Bewegung einer Flüſſigkeit an feſten Wänden 207.
II. Bewegung einer Flüſſigkeit zwiſchen beweglichen feſt. Körpern 225.
III. Bewegungen, mit d. Auflöſung eines Flüſſigen verbunden, Diffuſion 230.
Vierter Theil. Elaſticität d. feſten Körper p. 238.
I. Beſtimmung der Spannkraft 239.

II. Verhältniß d. Spannkräfte zu der Beschaffenheit der Körper 266; blättriger und faſriger Körper 266; bearbeiteter Stoffe 270. Vergleichung verſchiedener Körper 272. Flüſſige und feſte 276.

Fünfter Theil. Kryſtallkunde. p. 277. Geſchichte.

Erſter Abſchnitt. Kryſtallographie p. 281. Rationalität 281. Symmetrie 282. Terminologie 288.

Zweiter Abſchn. Charaktere d. Kryſtallreihen p. 291. Charakteriſtik 291. Claſſification 294. Ausbildung 297. Iſomorphie 307.

Dritter Abſchnitt. Kryſtallophyſik p. 307.

I. Elementar-Erſcheinungen 310.

II. Elaſticität 313. Schwingungen von Scheiben 315. Temperatur 319. Lichtbrechung 320.

III. Veränderung der Kryſtallform durch d. Temperatur 319.

IV. Lichtbrechung in den Kryſtallen 320.

V. Cohärenz 324. Durchgänge 325. Härte 328. Auflöſung 339.

VI. Rückblick auf die Kryſtallophyſik 342.

Vierter Abſchnitt. Kryſtallogenie p. 344.

I. Kryſtallverbindungen 345. Homogene 345. Heterogene 352.

II. Kryſtalliſationskraft 357.

Sechster Theil. Cohärenz d. feſten Körper p. 363.

Erſter Abſchnitt. Das Gefüge p. 364.

I. Structur und Textur 364.

II. Beobachtungen über d. Gefüge 367. Normale Kryſtalle 367. Abnorme Kryſtalle 369. Abnormität amorpher Körper 371. (Springgläſer 375.) Kryſtallaggregate 378. Poröſe Körper 383.

III. Kryſtalliſirbarkeit 385.

Zweiter Abſchnitt. Bewegungen im Innern der feſten Körper. Elementarbewegungen p. 392.

I. Elementarbewegungen in Folge einer chemiſch. Veränderung 393.

II. Elementarbewegungen ohne chem. Veränderung 398. Kryſtalliſation 398. ohne Kryſtalliſation 403. Sintern 404.

III. Elementarbewegungen durch äußere Kräfte entſtanden 408. Rückblick auf die Elementarbeweg. 424. Verhältniß z. Gefüge 427.

Dritter Abſchnitt. Die Feſtigkeit p. 431. Tabellen über Metalle 435. üb. Nichtmetalle 452. üb. Holz 456. Feſtigkeit gegen den longitud. Druck und Stoß 467. Gefüge u. Feſtigkeit 474. Einfluß der Abkühlung 477. Tragkraft u. Dehnkraft 481. Vergleichung der Feſtigk. verſch. Körpern 486. Haltbarkeit u. Tragkraft 486. Härte 488. Spec. Gewicht 490.

Vierter Abſchnitt. Anziehung zwiſchen heterogenen Körpern p. 493.

I. Adhäſion und Reibung 493.

II. Vereinigung zweier Körper 497.

Rückblick auf die Cohärenz 500.

Einleitung.

Atomistik und Dynamik.

§. 1. Ueber die Natur der Körper giebt es zwei Ansichten, die atomistische und die dynamische.

Nach der Atomistik sind die Kräfte an materielle Theile fest gebunden. Diese, Molekeln oder Atome genannt, können niemals in ihrer Beschaffenheit, sondern nur in ihrem Orte eine Veränderung erleiden. Eine jede Veränderung im Körper besteht daher in einer andren Stellung, einer Bewegung der Atome. Zu dieser gehört aber ein freier Raum; man ist daher genöthigt anzunehmen, daß die Atome durch leere Zwischenräume von einander geschieden sind.

Die Dynamik schließt die Bewegung in den Körpern nicht aus; aber sie läßt auch Veränderungen in der Stärke sowohl, als in der Beschaffenheit der Kräfte zu. Sie hat daher keinen Grund, den Körper in vereinzelte Atome zu zerlegen; sondern betrachtet ihn als ein stetiges Ganzes, das zufällige Zwischenräume ausgenommen, in einem jeden seiner Punkte thätige Kräfte hat, während *nach* der Atomistik die Kräfte sich nur in gewissen Zwischenräumen vorfinden.

§. 2. Die Anzahl der Theorieen über die Natur der Körper ist sehr groß; aber es ist selten, daß sie das Princip einer Klasse streng durchführen. Sie nehmen aus beiden etwas auf; und indem sie dann ihren gemeinschaftlichen Vorzug, die Consequenz, aufopfern, vereinigen sie in sich nur ihre Mängel. Dieses ist der Fall bei den Hypothesen, nach welchen die Kräfte veränderlich sind, aber die Theilchen durch leere Zwischenräume getrennt; oder wo ein Bestandtheil der Körper zu einem Aggregat von Atomen, der andre, z. B. die Wärme, zu einem stetigen Körper wird. Andere Theorieen sind von diesem Fehler frei; aber sie gehen von einer speciellen Erscheinung aus, etwa der Krystallbildung, dem Lichte oder dem organischen Prozesse, und um diesen anschaulich zu machen, verlieren sie die übrigen Wirkungsweisen der Körper aus den Augen.

§. 3. Am meisten ist die Atomistik ausgebildet. Ihre Grundsätze scheinen einfach zu sein. Sie reduciren alles auf Bewegung, und Raum und Zeit sind die Gebiete, in denen sich die Mathematik mit der größten Gewandtheit bewegt. Man betrachtete die Molekeln wie einzelne Sterne, die Körper wie Sternensysteme und wendete auf sie dieselbe Methode an, welche bei den Sternen so große Resultate gegeben hatte.

Folgende atomistische Hypothese, deren Hauptzüge schon Newton aufgestellt hat, ist von Laplace und seiner Schule weiter ausgebildet. Ich folge der Darstellung, welche Poisson in seinem Werke über die Capillarität, Seite 272, gegeben hat, und hebe nur die Bedingungen etwas stärker hervor.

§. 4. Der Körper besteht aus Theilen, welche durch leere Zwischenräume von einander getrennt sind.

Ein Raum, den man, wenn es die Bestimmung der Größe eines meßbaren Körpers gilt, vernachläßigt, kann eine so große Anzahl von Theilchen enthalten, daß man einzelne Theilchen gegen ihn vernachlässigen darf.

Jedes Theilchen besteht aus einem Kerne, dem Molekel, und aus einer Atmosphäre von Stoffen, deren Masse gegen die des Molekels nicht in Betracht kommt. Diese Atmosphäre besteht aus Wärmestoff und vielleicht auch aus elektrischen, magnetischen and andren Materien. Ihre Größe und Dichtigkeit ist veränderlich.

Man nimmt aus optischen Gründen an, daß die Durchmesser der Molekeln sehr klein gegen ihre Entfernungen sind. Indessen scheint mir diese Annahme, von dem Standpunkte des Atomismus aus, nicht nothwendig zu sein. Am einfachsten und mit den Erscheinungen am meisten übereinstimmend ist es jedoch, die Atome ganz ohne Ausdehnung im Raume anzusehen, nur als Punkte, welche der Sitz von allen in die Entfernung wirkenden Kräften sind.

§. 5. Ueber die Kräfte, welche zwischen den Molekeln statt finden, wird folgendes angenommen:

1. das Gesetz der Trägheit,
2. das der Action und Reaction,
3. das der allgemeinen Gravitation;
4. zwischen den Molekeln findet eine Anziehung statt; zwischen den Theilen der Atmosphäre aber ist Abstoßung. Vielleicht finden sich auch zwischen den Molekeln und Atmosphären eine

Wechselwirkung vor. Die Summe aller dieser Kräfte heißt Molecularkraft. Ihre Wirkungssphäre erstreckt sich zwar über eine große Anzahl von Theilchen; aber ihre Intensität nimmt mit der Zunahme der Entfernung so schnell ab, daß sie in einem meßbaren Abstande gänzlich verschwindet. Diese letzte Eigenschaft hat die Mathematiker in den Stand gesetzt, die Erscheinungen, welche die Molecularkraft hervorbringt, zu berechnen, obgleich man die Function, nach welcher sie wirkt, noch nicht kennt.

§. 6. Dieses sind die Hauptpuncte der Atomistik, zu denen ich in den folgenden Abschnitten noch einige Zusätze machen werde. Eine eigenthümliche Rolle spielt die Atmosphäre, oder der Wärmestoff, den man gewöhnlich für dasselbe hält. Er ist der Träger aller Erscheinungen im Körper, die auf einer Annäherung oder Entfernung der Molekeln beruhen; dennoch hat er ein sehr geringes oder gar kein Gewicht. Ihn für eine stetige Materie zu halten, würde inconsequent sein. Er ist also ebenfalls ein Aggregat von Theilchen; während aber sonst alle Theilchen sich anziehen, stoßen die der Wärme sich ab.

Man hat die, ihren Gesetzen nach, unbekannten Molecularkräfte auf die allgemeine Gravitation zurückführen wollen. Man hat ferner versucht Elektricität, Licht und Wärme auf ein Princip zu reduciren. Beides ist mißlungen. Will man daher zu einer Anschauung der Naturkräfte sich ein Bild von den Wanderungen der Atome und ihren Atmosphären entwerfen, so ist man zu der Annahme sehr verwickelter Hypothesen gezwungen.

Die Atomistik bietet also mehrere schwache Seiten dar. Man muß sie aber nicht mit unhaltbaren Gründen angreifen, oder eine Ansicht, der so große Männer huldigen, für absurd erklären. Diesen Fehler hat Uhde begangen, der in einem, manches schätzbare enthaltendem Buche, Versuch einer practischen Entwicklung der mechanischen Krystallisationsgesetze 1831, eine ausführliche Widerlegung der Atomistik bekannt gemacht hat. Die meisten Einwendungen, die er macht, hat man jedoch längst vorausgesehen und zu beseitigen gesucht; freilich nicht immer auf eine genügende Weise. Andere sind ganz unrichtig z. B. die angebliche Unmöglichkeit Spiegelung und Durchsichtigkeit auf atomistischem Wege zu erklären. Eine Hypothese, die so ausgebildet ist, wie die Atomistik, ist wie eine Straße auf unwegsamen Gebiete. Sie kann fehlerhaft

angelegt sein; aber verwerfen kann man sie nur dann, wenn eine bessere gebaut ist; und das ist noch von niemandem geschehen.

§. 7. Denn die Dynamik hat sich einer Ausbildung wie die Atomistik nicht zu erfreuen. Die Fälle ausgenommen, wo einige französische Mathematiker, Navier, Cauchy u. A., wie durch Versehen, eine stetige Ausfüllung des Raumes vorausgesetzt haben, ist die Mathematik nirgends auf dynamische Principien gegründet. Die stetige Ausbildung der Materie und die Veränderlichkeit der Kräfte bot keine hinlänglich feste Basis für das Gebäude der Mathematik dar. Das Streben allgemeine Naturgesetze aufzustellen war ungezügelt, und über das entfernte, unerreichbare Ziel vernachlässigte man das nähere. Die Anhänger der dynamischen Naturphilosophie überlassen die Fortbildung der Physik fast gänzlich den Atomisten und bedienen sich in ihren empirischen Untersuchungen sogar in der Regel der Sprache der Atomistik. Diejenigen, welche sich mit der naturphilosophischen Entwicklung der Dynamik vorzüglich beschäftigen, haben überdieß die wichtigen Gesetze, welche ihnen die Erfahrung darbot, und die von ihrem Standpunkte aus einer so schönen Entwicklung fähig sind, die Gesetze der Trägheit, der Reaction und der Gravitation als falsch verworfen. Während daher die Atomistik ihrer höchsten Entwicklung nahe steht, ist die Dynamik noch in ihrer Kindheit. Es ist meine Aufgabe nicht diese Lücke hier auszufüllen; indessen werde ich im Folgenden mehrere Erscheinungen auf die Weise der Dynamik darstellen.

Die Klage gegen den Gebrauch der Mathematik in der Naturkunde ist eben so lächerlich, als die über die Anwendung der Philosophie. Jene hat keine philosophischen Principien, diese keine empirischen gefunden; aber dieß war auch nicht ihr Zweck.

Die Aggregatzustände.

§. 8. Alle Körper zerfallen in drei Klassen, die der starren, der flüssigen und der gasförmigen. Es sind die Aggregatzustände der Körper*).

*) Diese Benennung hat den Fehler, daß sie eine Theorie voraussetzt, nämlich die atomistische. Man hat dafür Cohäsionszustände vorgeschlagen. Diesen Ausdruck möchte ich für die Unterschiede der Cohäsion in verschiedenen Richtungen beibehalten. Aggregatzustände ist jedoch einmal eingeführt und mag, wie so manches falschgebildete Wort, beibehalten werend.

Der Charakter der gasförmigen ist, daß die Kraft der Theile auf einander stets repulsiv wirkt; es also keine Lage giebt, wo die Körper für sich, ohne äußere Kraft im Gleichgewichte sind.

Bei den flüssigen und festen Körpern sind die innern Kräfte bei einer gewissen Stellung der Theile im Gleichgewicht und führen diese dahin zurück, wenn sie durch äußere Kräfte in eine etwas abweichende Lage gebracht worden sind.

Bei dem Flüssigen haben die Kräfte eine nach allen Seiten hin gleiche Intensität; bei dem Festen hingegen ist sie ungleich. Bei dem Flüssigen kann sich daher, wenn die Gestalt des Ganzen dadurch nicht geändert wird, ein Theil auf dem andren ohne Hinderniß verschieben. Diese vollkommene Verschiebbarkeit kann man zwar nicht unmittelbar beobachten, weil wir nur auf die Oberfläche vermittels fremder Körper und nicht ohne eine Veränderung ihrer Gestalt einwirken können; aber sie geht hervor aus der gleichförmigen Verbreitung des Druckes nach allen Seiten, aus der Vereinigung zweier Tropfen, die sich in einem Punkte berühren, und vielen andren Erscheinungen mehr. Bei den festen Körpern hingegen wird die stabile Anordnung der Theile schon durch das Verschieben geändert, es entwicklen sich neue Kräfte, die der Veränderung widerstehen und den Körper in seine frühere Stellung zurückführen.

Bei den Gasen ist also, wenn sie sich selbst überlassen sind, gar kein Gleichgewicht; bei den flüssigen ein indifferentes; bei den festen ein stabiles.

§. 9. Die einer Klasse angehörenden Körper zeigen abgesehen von diesen charakteristischen Eigenschaften einen höheren Grad von Familienähnlichkeit als chemisch-identische, aber in ihren Aggregatzuständen verschiedene Körper. Eis ist dem Salze weit ähnlicher, als dem Wasser, und Wasser dem Alkohol ähnlicher als dem Wasserdampf. Die gasförmigen Körper folgen sämmtlich dem mariottischen Gesetze, sie dehnen sich alle durch Erwärmung gleich stark aus, verlieren durch Compression eine gleiche Menge Wärme. Ihr specifisches Gewicht, ihr Vermögen Licht zu brechen und zu reflectiren, die Elektricität zu isoliren und zu leiten, ist in der Regel viel schwächer, als bei den flüssigen Körpern. Diese stehen zwar den festen Körpern weit näher als den Gasen; aber das specifische Gewicht, die Elasticität, die Einwirkung auf Licht, Wärme, Elektricität, ist bei den Flüssigen im Durchschnitt kleiner als bei den festen.

§. 10. Indeſſen ſind dieſe Unterſchiede größtentheils nicht für ſcharf zu halten, und es giebt einzelne Körper, die in mehreren Beziehungen in den Bereich eines andern Aggregatzuſtandes übergreifen. Das ſpecifiſche Gewicht iſt bei den Gaſen und Dämpfen zwar in der Regel einige hundert mal kleiner, als bei den Flüſſigen; allein die Dichtigkeit der Dämpfe in ihrem geſättigten Zuſtande nimmt mit der Temperatur raſch zu; die Dichtigkeit des Flüſſigen nimmt ab. Bei einer gewiſſen Temperatur werden beide einander gleich und das Flüſſige verwandelt ſich in Dampf von gleicher Dichtigkeit. In einer höhern Temperatur würde das ſpecifiſche Gewicht des Dampfes immer mehr zunehmen, und der Körper als ein Flüſſiges gar nicht mehr beſtehen können. Dieſes hat auch Cagniard de la Tour (Annales Chim. Phys. 1822. XXI. p. 127) bei Aether-, Alkohol- und Waſſer-Dämpfen beobachtet, und es iſt keinem Zweifel unterworfen, daß man es bei allen leicht verdampfbaren Flüſſigkeiten finden wird, wenn man die Temperatur und die Feſtigkeit der Gefäße auf einen hinlänglich hohen Grad ſteigert. Es iſt ſogar möglich, daß dieſe Grenze für einige Körper z. B. ſolche deren Dämpfe wir bis jetzt nur als permanente Gaſe kennen, nicht höher liegt, als die gewöhnliche Temperatur der Luft. Wenn wir daher auch bei den Gaſen eine Dichtigkeit, welche derjenigen der Flüſſigkeiten gleichkommt, nicht wahrnehmen; ſo ſind wir doch nicht befugt, ein geringeres ſpecifiſches Gewicht als einen charakteriſtiſchen Unterſchied der Gaſe und der Flüſſigkeiten anzuſehen.

Zwiſchen feſten und flüſſigen Körpern ſind die Abweichungen noch weniger allgemein, als zwiſchen Flüſſigen und Gaſen. Flüſſiges Platina und Gold gehören zu den ſchwerſten Körpern, Eis und ſtarre Oele zu den leichteſten, die es giebt. In der Temperatur des Erſtarrens iſt der feſte Körper eben ſo oft ſpecifiſch leichter, als der flüſſige, als er ſchwerer iſt; und wenn man den feſten Körpern im Durchſchnitte ein höheres ſpecifiſches Gewicht zuſprechen muß: ſo rührt dieſes von der Temperatur her, welche bei ihnen in der Regel niedriger iſt als bei flüſſigen von derſelben Zuſammenſetzung.

§. 11. Die §. 9. angeführten Unterſchiede kann man daher nur als Regeln anſehen, welche Ausnahmen erleiden. Aber die des §. 8. ſind charakteriſtiſch und bilden eine ſcharfe Grenzlinie

zwischen den Körperklassen, schärfer als sie sich sonst in der anorganischen Natur vorfindet. Kein Körper bildet einen Uebergang zwischen Flüssigen und Gasen. Jene Präparate von Cagniard de la Tour, die man als Zwischenkörper ansah, sind nach allen ihren Eigenschaften vollkommene Dämpfe, und haben nichts mit den Flüssigen gemein.

Zwischen starren und flüssigen Körpern ist die Aehnlichkeit größer und die Verwechselung leichter. Wenn sogar der Staub sich so lange in der Luft erhält, und im Schaume das Gas von dem beigemengten, so viel schwereren, flüssigen Körper sich nicht lösen kann; so ist es zuweilen unmöglich, feste und flüssige Körper von einander zu trennen, wenn sie fein zertheilt sind, ihre Adhäsion stark und ihr specifisches Gewicht wenig verschieden ist. Im Schlamme, der dem bloßen Auge homogen erscheint, kann man mit dem Mikroskope die fremdartigen Theile unterscheiden. Bei fetten Oelen, wo uns das Mikroskop verläßt, kann man durch Pressen den festen von dem flüssigen Bestandtheile trennen. Bei den Queckſilbersalben führt auch dieses Mittel nicht zum Ziele, und dennoch sind sie bloß Gemenge des Queckſilbers und eines starren oder flüssigen Oeles u. s. f. (C. G. Mitscherlich, Poggend. Annal. 1829. XVI. p. 53.) Bei den chemisch einfachen Stoffen aus der anorganischen Welt geht das Flüssige in den festen Zustand fast immer mit einem starken Sprunge über. Nur bei den Körpern organischen Ursprungs wird das Flüssige nicht selten erst zu einer Gallert, ehe es erstarrt und die Grenzlinie für unser Auge gänzlich verwischt. Indessen findet sich dieses auch hier fast nur bei solchen Körpern, deren chemische Reinheit sehr unwahrscheinlich ist, und wo ein Bestandtheil, indem er früher erstarrt, dem andren noch flüssigen Stoffe einen Theil seiner Beweglichkeit raubt. Bei organischen Körpern von erwiesener Reinheit ist der Uebergang zwischen den Aggregatzuständen gewöhnlich eben so scharf, wie bei dem Wasser.

§. 12. Es ist eine Aufgabe für die Naturphilosophie, den Charakter der drei Aggregatzustände anzugeben, und diese als nothwendig und die einzig möglichen zu erweisen. Die Dynamik würde hierbei keine bedeutenden Schwierigkeiten zu überwinden haben. Aber die Atomistik, deren Principien schärfer bestimmt sind, hat es bis jetzt noch nicht auf eine genügende Weise gethan.

In älteren Zeiten nahm man an, daß bei den Flüssigen die Theile rund und glatt seien, bei den Festen dagegen rauh und polygonal. Seitdem man jedoch weiß, daß fast ein jeder Körper aller drei Aggregatzustände fähig ist, kann man ihren Unterschied nicht mehr in die Gestalt der unveränderlichen Atome setzen. Durch Gruppirung der Atome die runde Form der Flüssigen in die eckige der Festen zu verwandlen, ist eine verwickelte und nicht durchzuführende Hypothese. Die Unterschiede bestehen daher nur in der Dichtigkeit der Wärmeatmosphären. Nach der gewöhnlichen Meinung nehmen die festen Körper, wenn sie flüssig, und diese, wenn sie zu Gasen werden, eine bedeutende Wärmemenge in sich auf. Hierdurch wird die Repulsion kräftiger und bei den Gasen überwiegt sie sogar. Bei den Flüssigen dauert zwar die Anziehung fort; allein sie ist viel schwächer als bei den Festen, und in gewissen Beziehungen halten sich Abstoßung und Anziehung das Gleichgewicht.

Diese Erklärung ließe wenig zu wünschen übrig, wenn die flüssigen Körper wirklich die Mitte hielten zwischen den festen und den Gasen und in beide allmälig übergingen. Aber das Bedürfniß die Verschiebbarkeit, welche der charakteristische Unterschied zwischen Festem und Flüssigem ist, zu erklären, führte zu folgenden Modificationen, die auch in der Krystallisation eine Stütze finden.

§. 13. Die Molekeln haben eine polyedische Gestalt, den Primitivformen der Krystalle parallel.

Die Molecularkräfte zerfallen in zwei Theile. In dem einen sind die Kräfte nach allen Richtungen hin einander gleich, in dem andren sind sie ungleich. Jene sind Hauptkräfte, diese sind secundär. Von jenen hängt die Elasticitat ab; von diesen die Krystallisation und andere damit in Verbindung stehende Processe. Aber die Sphäre ihrer Wirksamkeit scheint viel kleiner zu sein, als die der Hauptkraft.

Ich würde statt dieser, von Poisson (Sur l'équilibre des fluides. Mémoires de l'Academie. 1830. Tom. IX.) gegebenen Darstellung im Sinne der Atomistik folgende vorziehen:

Die Molecularkräfte zerfallen in zwei Theile, der eine wirkt in der die Schwerpunkte verbindenden Linie, der andere in der darauf senkrechten Ebene. Beide sind nach verschiedenen Richtungen verschieden. Wo die Theile regelmäßig gelagert sind, d. h. in den Krystallen, haben alle einander parallele Richtungen gleiche Molecu-

larkräfte im ganzen Körper. Bei den übrigen festen Körpern weicht die Richtung mehr oder weniger vom Parallelismus ab. Bei den flüssigen und luftförmigen sind die secundären Kräfte fast ganz aufgehoben und die Theilchen liegen so unregelmäßig neben einander, daß der mittlere Werth der Molecularkräfte nach allen Seiten gleich ist. Bei den Gasen überwiegt durch die vermehrte Quantität des Wärmestoffes die Repulsion.

Diese Hypothesen sind sehr einladend. Aber das specifische Gewicht und die hierdurch bedingte große Annäherung der Theile, die sich zuweilen in den Gasen findet, der geringe Unterschied zwischen den specifischen Gewichten der festen und flüssigen Körper und die dessenungeachtet statt findende große Kluft, welche die drei Aggregatzustände von einander scheidet, sind Schwierigkeiten, welche die Atomistik noch nicht hat beseitigen können.

Verbindungen.

§. 14. Zwei heterogene Körper verbinden sich auf dreifache Weise, mechanisch, physisch, chemisch.

Die mechanische Verbindung ist am leichtesten anschaulich zu machen. Die flüssigen und luftförmigen Körper trennen sich gewöhnlich schon durch die Schwere, indem das specifisch leichtere aufsteigt. Feste Körper, wenn keine Adhäsion sie hält, werden schon von einander getrennt, wenn man sie in eine gleichförmige Bewegung versetzt, und ihnen dann einen Körper entgegenstellt, dem sie ihre Bewegungen mittheilen müssen, z. B. Luft oder Wasser. Die Stücke, deren Volumen oder Gewichte größer sind, verlieren dabei einen kleinern Theil ihres Bewegungsmoments und eilen den übrigen voraus.

§. 15. Die physischen und chemischen Verbindungen sind inniger. Die Bestandtheile durchdringen sich; sie befinden sich beide zugleich an jedem Orte und werden durch mechanische Kräfte nicht getrennt.

Bei den physischen *) Verbindungen ist die Kraft, welche an jedem Punkte wirkt, der Summe der Kräfte der beiden Bestandtheile beinahe gleich. Alle Eigenschaften des Ganzen, specifisches

*) Der Ausdruck physisch ist nicht ganz passend; denn Chemie und Mechanik können in gewissen Beziehungen als Theile der Physik angesehen werden. Cohäsiv hätte die hier wirkenden Kräfte besser bezeichnet. Jedoch vermeide ich neue Worte, wo ich nur kann.

Gewicht, Ausdehnung durch Wärme, Elasticität des Dampfes, Krystallform, sind Functionen der Bestandtheile. Diese liegen theils gleichgültig neben einander, theils werden sie durch eine Cohäsionskraft verbunden. In dem ersten Falle, der bei den Gasen eintritt, braucht man das Gemisch, um es zu trennen, nur aus einer Oeffnung strömen zu lassen. Da die beiden Gase, wenn sie, ein jedes allein, in dem Gefäße wären, mit wachsender Schnelligkeit herausströmen würden, so trennt sich das Gemisch zum Theile auch. (Siehe Elasticität der Gase, Diffusion und Daltonsches Gesetz.)

Den Verbindungen flüssiger Körper, oder den Auflösungen, kann man zwar, da sie durch Cohäsionskräfte mit einander verbunden sind, auf diese Weise eine verschiedene Bewegung nicht mittheilen; läßt man aber Ursachen darauf einwirken, welche in andren Fällen niemals eine chemische Wirkung hervorbringen, indem man die Flüssigkeit zum Verdampfen, oder zum Erstarren bringt, oder läßt sie durch sehr enge Oeffnungen gehen (Siehe Cohärenz der Flüssigen, Diffusion), so trennen sich die beiden Bestandtheile ebenfalls.

Bei den festen Körpern finden sich diese physischen Verbindungen in den isomorphen Krystallen vor; eine Trennung ist jedoch bei der Natur der festen Körper unmöglich. (Siehe Krystallisation, Isomorphie).

Alle diese Verbindungen sind in einer unendlichen Anzahl von Verhältnissen möglich, indem ein Theil des einen Körpers jede Quantität des andern zwischen m und n Theilen, ja zuweilen zwischen 0 und ∞ aufnehmen kann.

§. 16. Bei den chemischen Verbindungen dagegen ist ein ganz neuer Körper entstanden, der nur auf chemischem Wege zerlegt werden kann, und in seinen Eigenschaften, z. B. der Schmelzbarkeit, der Verdampfung, an seine Bestandtheile oft nur wenig erinnert. Diese Verbindungen sind, selbst wenn ihrer mehrere zwischen zwei Körpern vorhanden sein sollten, nur in einzelnen bestimmten Verhältnissen möglich.

§. 17. Die mechanischen Verbindungen sind also nur durch mechanische Kräfte von einander zu trennen, die physischen durch physische, die chemischen durch chemische Kräfte. Der mechanischen Verbindung sind alle Körper fähig. Ihre Bestandtheile trennen sich um so leichter, je gröber sie sind und je

verschiedener ihre specifischen Gewichte. Die physischen Verbindungen werden durch eine innige mechanische Verbindung, welche die beiden Bestandtheile in möglichst großen Oberflächen in Berührung bringt, sehr befördert. Sie finden sich vornehmlich unter Körpern, welche in ihren Eigenschaften einander sehr nahe stehen, z. B. zwischen den Gasen; zwischen Flüssigkeiten von ähnlichen specifischen Gewichten, Cohäsionen u. s. w.; bei den festen Körpern vielleicht nur dann, wenn zu der Aehnlichkeit aller Eigenschaften noch eine der Identität nahe Verwandtschaft der Krystallform tritt. Körper, die verschiedenen Aggregatzuständen angehören, gehen nur dann eine physische Verbindung ein, wenn der feste oder gasförmige Bestandtheil durch die Anziehung des flüssigen ebenfalls flüssig geworden ist. (Siehe Cohärenz des Flüssigen, Absorption und Auflösung). Die chemischen Verbindungen sind zwischen denjenigen Körpern am innigsten, deren Eigenschaften am meisten verschieden sind. Und wenn auch zwei Körper, die eine physische Verbindung einzugehen pflegen, wie zwei Salze oder ein Salz mit Wasser und Alkohol, sich chemisch verbinden, so ist das Band immer locker und wird durch schwache chemische Kräfte zerrissen *).

§. 18. In der Darstellung dieser drei Verbindungsarten habe ich mich der Sprache der Dynamik bedient. Atomistisch würde man sich folgendermaßen aussprechen müssen:

In der mechanischen Verbindung enthält jeder der Bestandtheile eine sehr große Menge gleichartiger Atome in ihrer ursprünglichen Stellung.

Bei chemischen Verbindungen sind die Atome beider Bestandtheile regelmäßig neben einander gelagert, Atom neben Atom,

*) Gegen diese Charakteristik kann Verschiedenes eingewendet werden, z. B. die Zersetzung der Hydrate, einer unleugbar chemischen Verbindung durch bloße Verdampfung. Diese Erscheinung ist identisch mit der Zersetzung des kohlensauern Kalks in hoher Temperatur und hohem Druck, ja wahrscheinlich auch mit der Bildung und Zersetzung der Oxyde durch Wärme. Ich kann hier, wo nur eine Uebersicht gegeben werden soll, nicht näher auf das Einzelne eingehen. Die Definition der physischen Verbindungen bleibt so lange etwas schwankend, als uns genaue Versuche über das specifische Gewicht, die Lichtbrechung, die Cohäsion, und vor allem die Wärme-Entwickelung oder -Verschluckung bei Verbindungen fehlen. Auf die Verdampfung der flüssigen Verbindungen werde ich bei der Cohärenz des Flüssigen zurückkommen.

oder 1, 2, 3, ... Atome des einen, neben 1, 2, 3, 4 ... Atome des andren. Man kann sie nur durch eine Kraft von einander trennen, welche auf die Lage der Atome selbst einwirkt.

Die physischen Verbindungen sind schwerer aufzufassen. Unterscheiden sie sich von den mechanischen nur durch die geringere Anzahl der vereinigt gebliebenen Atome, oder ist sie der chemischen ähnlich, mit dem Unterschiede, daß die Atome regellos durch einander gemischt sind? Welche Ansicht auch der Physiker vorziehen möge, immer wird er vom Standpunkte der Atomistik aus einen allmäligen Uebergang zwischen den mechanischen, chemischen und physischen Verbindungen zugestehen müssen, welche doch, wie wir glauben, eben so scharf von einander geschieden sind, wie die Aggregatzustände selbst. Dagegen ist bei der Erklärung der chemischen Verbindungen der Atomismus der Dynamik entschieden überlegen, indem aus ihm die festen Proportionen in den chemischen Verbindungen mit Nothwendigkeit hervorgehen. Diese und das Gesetz der Rationalität bei den Krystallen müßte man vor Allem mit der Annahme einer den Raum stets ausfüllenden Materie in Einklang zu bringen suchen.

Die Cohäsion.

§. 19. Das Wort Cohäsion bezeichnet bei den Physikern Begriffe von sehr verschiedenem Umfange. In älterer Zeit verstand man darunter jede Kraft im Körper, welche sich auf den Zusammenhang der Theile bezieht, selbst die chemische Affinität. Späterhin, als man die verschiedenen Arten von Zusammenhang unterscheiden lernte, schränkte man den Begriff immer mehr ein, und gebrauchte ihn zuletzt bloß für die Kraft, welche zum Zerreißen eines festen Körpers nothwendig ist, synonym mit Festigkeit, nach der von uns angewendeten Terminologie. Indessen wurde Cohäsion zuweilen in einem anderen Sinne gebraucht, und dieses gerade von Männern, welche die Erscheinungen von einem allgemeinen Standpunkte aus betrachteten, z. B. von Young, der eine wichtige Abhandlung „On the cohesion of Fluids“ überschrieben hat.

Ich nehme Cohäsion in weitern Sinne und begreife darunter alle im Innern des Körpers wirkenden Kräfte, welche seine räumliche Anordnung bestimmen, aber weder in sei-

am Aggregatzuſtande, noch in ſeinem chemiſchen Verhalten eine Aenderung hervorbringen.

§. 20. Ueber die Urſachen der Cohäſion hat man viele Hypotheſen aufgeſtellt. Statt erſt nach den Geſetzen einer Kraft, und dann nach ihren Urſachen zu forſchen, ſchlug man in der Regel den entgegengeſetzten Weg ein, und ging dabei immer von gewiſſen Hypotheſen aus, welche die Phyſiker und Naturphiloſophen für evident hielten. Man kannte früherhin nur ein Mittel Bewegung mitzutheilen, die unmittelbare Berührung, den Stoß. Ein ſolches wurde daher auch als Urſache der Cohäſion angeſehen und die Molekeln zu dem Behufe mit Häkchen, Faſern, Hebel, ſelbſt mit einem Oel bedeckt, um die Bewegung in gewiſſen Fällen zu erleichtern. Dieſe Maſchinerie wurde ſpäterhin durch einen Aether erſetzt, der um die Körper theils als Ganze, theils um die einzelnen Atome rotirte und ſie, wie ein Luftſtrom, fortriß. Dieſe Anſichten waren im 16ten und 17ten Jahrhunderte herrſchend und auch uns werden zuweilen noch die alten Verſuche, die Cohäſion durch eine ſeltſame Gruppirung der Theilchen, oder die Bewegung eines imponderablen Fluidums zu erklären, als neue Lehren vorgetragen.

§. 21. Newton verfuhr in Beziehung auf Hypotheſen mehr negativ als poſitiv. Statt der Häkchen oder des Aethers ſuchte er die Erſcheinungen in ihren einfachſten Bedingungen aufzufaſſen, indem er alle fremdartigen Urſachen entfernte. So reducirte er die Bewegungen der Planeten, indem er von den Wirkungen des Beharrungsvermögens abſtrahirte, auf die reine Gravitation. Ueber die Cohäſion ſprach er wenig. Allein die Idee einer Kraft, die ohne Berührung wirkte, wurde höchſt fruchtbar für ſämmtliche Theorieen in der Phyſik. Auch die Cohäſion brauchte man nun nicht mehr einem Stoße zuzuſchreiben, man konnte ſie, wie die Gravitation, auf eine Anziehung in die Ferne zurückführen; und dieſes iſt auch die einzige Wirkungsweiſe, welche die Atomiſtik zuläßt.

§. 22. Man verſuchte natürlich das in der Aſtronomie ſo fruchtbare Geſetz der Gravitation auch auf die Cohäſion zu übertragen. Die Maſſe der Atome iſt freilich ſehr gering, aber die Kraft nimmt in quadratiſchem Verhältniſſe der Entfernung zu, und konnte ſo vielleicht bei der geringen Entfernung, in der die Atome von einander ſind, von einer merklichen Größe werden. Aber ſchon Newton hatte es ausgeſprochen, daß die Gravitation nicht hin-

reiche, die Cohäſion zu erklären. Gauß ſagt im Beginne ſeiner Principia generalia Theoriae fluidorum, daß das Geſetz der Gravitation nach dem Quadrate der Entfernungen in den capillären, den Adhäſions- und Cohäſions-Erſcheinungen durchaus ohne Einfluß ſei; denn man finde, daß die Anziehung eines jeden Körpers, den man beobachten kann, gegen die Anziehung der Schwere verſchwindet. Poiſſon iſt derſelben Meinung. Den Beweis mitzutheilen, hielten beide, und mit Recht, für unnöthig. Die atomiſtiſche Anſicht über die Urſachen der Cohäſion habe ich bereits oben mitgetheilt.

Eintheilung.

§. 23. Die Erſcheinungen der Cohäſion laſſen ſich unter folgende vier Rubriken zuſammenfaſſen:

1. Das ſpecifiſche Gewicht.
2. Die Geſtalt.
3. Die Elaſticität.
4. Die Cohärenz.

Dieſe müſſen bei allen Aggregatzuſtänden, bei einfachen Körpern und bei phyſiſchen Verbindungen betrachtet werden.

§. 24. Das ſpecifiſche Gewicht iſt das Verhältniß der Maſſe zum Volumen. Der Begriff der Maſſe findet ſich bei jeder Mittheilung von Bewegung vor, alſo auch bei derjenigen, welche die Gravitation hervorbringt; iſt aber von dieſer ganz unabhängig. Dagegen iſt es eine Hauptaufgabe einer Naturphiloſophie, zu erklären, warum die Gravitation dem Producte der Maſſen proportional iſt.

Die Wärme verändert das ſpecifiſche Gewicht bei den feſten und flüſſigen Körpern und ſetzt die Gaſe in den Stand, einem größeren äußeren Drucke bei einer geringeren Dichtigkeit zu widerſtehen, als in der Kälte. Eine einzige Ausnahme von dieſer Regel iſt bis jetzt bekannt, nämlich am Waſſer, das ſich in der Nähe des Frierpunktes durch Erwärmung zuſammenzieht. Sie iſt wichtig; denn ſie warnt uns, der Ausnahme von der ausdehnenden Kraft der Wärme eine allgemeine Gültigkeit zu geben. Auch iſt Waſſer wahrſcheinlich nicht das einzige Beiſpiel. Denn außer bei Waſſer haben wir nur noch von zwei oder drei einfachen flüſſigen Körpern die Ausdehnung bis zu

ihrem Frierpunkte verfolgt, bei Phosphor, dem Queckſilber und vielleicht noch der Roſe'ſchen Legirung. Die gewöhnliche Erklärung, daß in dem kalten Waſſer ſich ſchon die Kraft bemerklich mache, welche das ſpecifiſche Gewicht des Eiſes ſo ſehr verringert, ſetzt einen allmäligen Uebergang zwiſchen Waſſer und Eis voraus. Phosphor und Queckſilber ziehen ſich im Moment des Frierens ſtark zuſammen. Wenn jene Erklärung richtig wäre, ſo müßte ſich das ſpecifiſche Gewicht dieſer Körper in der Nähe des Froſtpunktes bei gleichen Abkühlungen in einem ſtärkern Verhältniſſe vermindern, als in höhern Temperaturen. Aber im Phosphor iſt die Zuſammenziehung bis zum Frieren ganz gleichförmig, und im Queckſilber nimmt die Zuſammenziehung im Vergleiche mit dem Lufthermometer ſogar etwas ab.

Die Methode, das ſpecifiſche Gewicht zu beſtimmen, und Tabellen darüber, ſtehen in jedem Handbuche. Ein wiſſenſchaftliches Intereſſe erlangt es nur in Verbindung mit dem Miſchungsgericht, der Elaſticität u. ſ. w. Jenes gehört der Chemie an; von dieſen wird bei den betreffenden Cohäſions-Erſcheinungen die Rede ſein. Einen beſondren Abſchnitt für das ſpecifiſche Gewicht zu bilden, iſt daher unnöthig.

§. 25. Die Geſtalt der gasförmigen Körper iſt die des Gefäßes. Die Geſtalt der flüſſigen, welche ihren innern Kräften frei folgen können, iſt die Kugel. Flüſſige homogene Weltkörper würden, ohne die auf verſchiedene Theile ungleichförmig wirkende Attraction andrer Weltkörper und ohne die Achſendrehung, Kugeln ſein. Noch nachtheiliger für die Kugelform als die Anziehung entfernter Körper iſt die Berührung mit heterogenen Stoffen. Dieſe iſt immer mit einer Anziehung verbunden, findet niemals in einem Punkte, ſondern immer in einer Fläche ſtatt, und die Oberfläche des Flüſſigen wird zu einem Aggregat von gekrümmten und ebenen Flächen, die ſich an ihren Berührungslinien oft ſcharf abſchneiden und von der Anziehung der flüſſigen Theile gegen einander und die begrenzenden Körper abhängen. Die Geſtalt und die Cohärenz hängen daher von denſelben Bedingungen ab.

Bei den feſten Körpern tritt dagegen die Geſtalt ſelbſtſtändiger auf. Die nach verſchiedenen Richtungen mit verſchiedener Intenſität wirkenden Kräfte bringen eine Begrenzung von ebenen Flächen hervor, die bei aller Mannigfaltigkeit doch ſcharf beſtimmten Geſetzen

folgt. Die Gestalt der festen Körper, die sich frei ausbilden können, d. h. der Krystalle, verdient daher eine genaue Untersuchung. Sie bildet einen Hauptabschnitt dieses Werkes.

§. 26. Elasticität und Cohärenz können nur im Conflict der Kräfte im Innern des Körpers mit den äußern wahrgenommen werden. Sie beruhen auf einer räumlichen Veränderung im Körper. Kehrt der Körper nach Entfernung der äußeren Kräfte in seine frühere Lage zurück, so ist es Elasticität; ist die Veränderung bleibend, so ist es Cohärenz.

Die Gase kehren immer in ihre frühere Lage zurück. Bei ihnen ist also die Cohärenz nicht zu beobachten. Bei den Flüssigen hängt sie mit den die Gestalt bedingenden Kräften zusammen.

§. 27. Die Cohäsionslehre besteht daher aus folgenden Theilen:

I. Cohäsion der Gase.
   1. Elasticität (Gestalt und Cohärenz fehlen).

II. Cohäsion der Flüssigen.
   2. Elasticität der Flüssigen.
   3. Cohärenz (Gestalt fällt mit Cohärenz zusammen).

III. Cohäsion der Festen.
   4. Elasticität.
   5. Gestalt oder Krystallkunde.
   6. Cohärenz.

Also sechs Theile, die ich in dieser Reihefolge behandlen werde.

Erster Theil.

Elasticität der Gase.

I. Gleichgewicht der Gase.

§. 1. Bei den Gasen ist die Cohäsion negativ. Eine Anziehung wird gar nicht wahrgenommen. Zwischen den gleichartigen Theilen eines Gases findet aber eine Abstoßung statt, so daß dieses nur dann im Gleichgewichte ist, wenn ein jeder seiner Punkte nach allen Seiten einen gleichen Druck erleidet. Die festen, flüssigen, oder luftförmigen Körper, die sich an der Grenze der Gase oder im Innern befinden, erfahren denselben Druck; im Innern werden sie daher von allen Seiten in gleichem Grade comprimirt

und an der Grenze bedürfen sie, um nicht mehr fortgetrieben zu werden, einer Gegenkraft von gleicher Stärke.

Das mariottische Gesetz über Elasticität und Dichtigkeit der Gase.

§. 2. Mit dem specifischen Gewichte des Gases wird auch seine Elasticität verändert. Nach Versuchen, die zuerst Boyle und später Mariotte und Andere angestellt haben, ist bei Gasen, die an Stoff und Temperatur einander gleich sind, die Elasticität dem specifischen Gewichte proportional. Bei einer Compression innerhalb vier bis fünf Atmosphären erlitt dieses Gesetz keine Ausnahme; allein bei einem höhern Drucke, etwa von 10 Atmosphären nahm die Elasticität in einem kleinern Verhältnisse zu, als die Dichtigkeit. Aehnliche Resultate hat man auch bei neuern Versuchen gefunden, wenn sie nicht mit großer Sorgfalt angestellt, und vorzüglich Wasser- und andere Dämpfe nicht vermieden waren. Denn gesetzt, das Gas enthielte etwa den fünften Theil des Dampfes, welchen der Raum bei dieser Temperatur halten kann, und würde zehnfach comprimirt; so müßte sich die Hälfte des Dampfes niederschlagen, die Elasticität also vermindert werden.

In neuerer Zeit haben Oersted und Swendsen, ferner Dulong nebst andern französischen Akademikern genaue Versuche mit trockner Luft und andern Gasen angestellt. Dulong bestätigte die Richtigkeit des mariottischen Gesetzes bei der gewöhnlichen Luft, bis auf 27 Atmosphären, die größte Compression, die er mit seinem Apparate erlangen konnte, und Oersted fand in einem etwas minder genauen Apparate selbst bei 66 Atmosphären keine die Beobachtungsfehler überschreitende Abweichung. Auch in andren sogenannten permanenten Gasen, z. B. dem Wasserstoff, fand man das Gesetz bestätigt.

§. 3. Nur bei den Gasen, welche leicht durch Kälte oder Druck flüssig gemacht werden können, z. B. der schwefligen Säure, dem Schwefelwasserstoffgas, beschränkt sich die Richtigkeit des Gesetzes auf wenige Atmosphären. Bei einem Drucke, welcher demjenigen, der die Präcipitation bewirkt, nahe stehet, wenn er ihn auch nicht ganz erreicht, nimmt die Elasticität in etwas geringerem Verhältnisse zu, als das specifische Gewicht. Ich werde bei der Cohärenz des Flüssigen in den Abschnitte, wo ich von dem Benetzen und der Absorption handeln werde, nachweisen, daß Dämpfe,

die in Berührung mit Stoffen sind, zu denen sie eine starke Adhäsion haben, sich schon dann niederzuschlagen anfangen, wenn sie im freien Raume ihr Maximum noch nicht erreicht haben würden. Diese Ursache muß die Elasticität bei höhern Graden von Dichtigkeit vermindern. Von einer solchen unvermeidlichen Präcipitation rührt auch vielleicht der geringe Unterschied von $^1/_{70}$ des Ganzen her, um den Gaylussac und Berzelius die Dichtigkeit des schwefligsauren Gases größer gefunden haben, als nach der Berechnung aus der Zusammensetzung des Gases (Berzelius Chemie 1833. II. p. 29).

Auch bei Dämpfen von Körpern, die unter gewöhnlichen Umständen flüssig sind, z. B. von Wasser und Alkohol, findet das mariottische Gesetz seine Anwendung, wie aus den Fällen hervorgeht, wo man zu gleicher Zeit das specifische Gewicht und die Elasticität des Dampfes beobachtet hat.

Man hat aus der Beschaffenheit der Luft in den höchsten Schichten der Atmosphäre und aus den Dämpfen über Körpern von hohem Siedpunkte einige Gründe gegen die Fortdauer des mariottischen Gesetzes in hohen Graden der Verdünnung abgeleitet. Sie sind aber keineswegs entscheidend. Dieses gilt auch von den theoretischen Einwendungen, die man von dem Standpunkte der Atomistik aus gemacht hat.

Das mariottische Gesetz ist also innerhalb der gewöhnlichen Grenzen der Beobachtung das Gesetz der Natur, und es ist kein triftiger Grund vorhanden, es bei sehr hohen oder sehr niedrigen Temperaturen oder Spannungen, so lange der Körper nur seine Gasform behält, in Zweifel zu ziehen.

§. 4. Bei der Luft unserer Atmosphäre tritt zu der Elasticität eine neue Kraft, die Schwere. Während die Elasticität nach allen Seiten hin gleiche Kräfte verlangt, wirkt die Schwere bloß von oben nach unten. Von zwei in einer Verticallinie neben einander befindlichen Luft-Elementen hat das tiefer liegende eine Kraft zu überwinden, welche um das Gewicht des obern Elementes größer ist, als die bei diesem letzten wirkende Kraft. Die Compression und mit ihr die Dichtigkeit nimmt daher von unten nach oben hin ab. Nach diesen Principien kann man die Elasticität und die Dichtigkeit der Luftschichten in verschiedenen Höhen berechnen. Die Wichtigkeit dieser Frage für die Anwendung des Barometers zur Mes-

ſung der Höhen hat viele und genaue Unterſuchungen darüber veranlaßt.

§. 5. Die ältere Literatur iſt in dem gehlerſchen Wörterbuche, Artikel Gas ziemlich vollſtändig mitgetheilt. Die neuen Arbeiten ſind:

Derſted, Schweigg. Journ. 1825. XLV. p. 352 genau und auf viele Körper ausgedehnt, aber leider ohne Detail.

Despretz, Ann. Chim. Phys. 1827, XXXIV. p. 335 und 443, und Poggend. Annal. IX. 605. Er hat bedeutende Abweichungen von dem mariottiſchen Geſetze gefunden und vermuthet ſie auch da, wo er ſie nicht gefunden hat, z. B. beim Waſſerſtoff. Allein ſeine Apparate laſſen mehreres zu wünſchen übrig.

Dulong, Ann. Chim. Phys. 1830. XLIII. p. 88.

Das Geſetz von Laplace über die Compreſſibilität der Gaſe.

§. 6. Das mariottiſche Geſetz gilt jedoch nur für die Elaſticität einer Gasmenge, die Zeit gehabt hat, ſich in ihrer Temperatur mit den umgebenden Körpern in Gleichgewicht zu ſetzen. Durch die Compreſſion oder Dilatation wird aber die Temperatur des Gaſes bedeutend erhöht oder vermindert, und außer der Zunahme in Folge der Compreſſion ſteigt die Elaſticität noch für jeden Grad, um den die Temperatur erhöht wird, um 0,00375.

Sind e und e_1 die Elaſticitäten eines Gaſes in zwei Zuſtänden ſeiner Compreſſion, g und g_1 die entſprechenden ſpecifiſchen Gewichte: ſo iſt nach dem mariottiſchen Geſetze $e_1 = \frac{g_1}{g} e$. In Folge jener Wärme-Entwickelung aber iſt $e_1 = k\frac{g_1}{g} e$.

k iſt das Verhältniß der Zunahme der Elaſticität welche die Vermehrung des ſpecifiſchen Gewichtes hervorbringt, zu der, welche von der Wärme herrührt. k iſt alſo eine von der Thermometerſcale, der Einheit, die man für den Druck gewählt hat, und von der Compreſſion ſelbſt unabhängige Zahl, deren Größe ſich bloß nach der Natur des Gaſes richtet.

§. 7. Dieſer Coefficient iſt bei der Fortpflanzung des

Schalles in der Luft und in den Gasen von größter Wichtigkeit. Die Fortpflanzung besteht in einem raschen Wechsel von Contraction und Dilatation und ihre Geschwindigkeit hängt ab von der Kraft, welche nöthig ist, um in dem Gase eine Compression von gewisser Größe hervorzubringen. Newton hat sie zuerst berechnet, indem er die Compressibilität der Luft nach dem mariottischen Gesetze bestimmt hat. Allein zwischen den Beobachtungen und der Rechnung ergab sich eine große Differenz, die man vergebens durch gewagte Hypothesen über die Beschaffenheit der Luftatome zu beseitigen suchte. Da machte Laplace auf den wichtigen Einfluß der Compressionswärme aufmerksam, und brachte die Rechnung mit der Beobachtung in Einklang, indem er die Gleichung für die Geschwindigkeit des Schalles mit der Quadratwurzel des Coefficienten k multiplicirte. Er bezeichnete diesen als das Verhältniß der specifischen Wärme bei constantem Druck zur specifischen Wärme bei constantem Volumen. Unsere Darstellung ist jedoch einfacher.

§. 8. Die Geschwindigkeit des Schalles nach dem mariottischen Gesetze ist 279,05 Meter, bei 0^0 C.

Die wirkliche Geschwindigkeit aber beträgt 333,67 Meter.

Das specifische Gewicht der Luft gegen Wasser ist = 0,001291 gesetzt, und der Coefficient k = 1,421, nach Dulongs Versuchen.

Für ein anderes Gas, dessen specifisches Gewicht = ϱ, die Elasticität = e und der Coefficient = k ist, ist die Geschwindigkeit = $276{,}05\ e\ \sqrt{k} : \sqrt{\varrho}$.

Den Werth von k hat Dulong für mehrere Gase beobachtet.

Atmosphärische Luft	1,421.	Kohlensäure	1,338.
Sauerstoff	1,416.	Stickstoffoxydul	1,343.
Wasserstoff	1,411.	Oelbildendes Gas	1,240.
Kohlenoxyd	1,438.		

Es ist hierbei merkwürdig, daß diejenigen Gase, bei denen k fast denselben Werth hat, sämmtlich zu den nicht compressibelen gehören; daß Kohlensäure und Stickstoffoxydul, deren Coefficienten nahe gleich sind, auch beide compressibel sind, und zwar in gleichem Grade, und daß auch das ölbildende Gas, wie sich aus seiner starken Absorption ergiebt, der Compressibilität nahe steht (Siehe Cohärenz der Flüssigen, Benetzen und Absorption). Auch

ist der Coefficient bei allen dreien kleiner als bei der Luft u. s. f. Wäre er nicht bei dem ölbildenden Gase kleiner als bei der Kohlensäure, so würden alle diese Beobachtungen sehr gut mit der Annahme stimmen, daß k um so größer sei, je weiter das Gas von dem Zustande seines Maximums entfernt ist, und daß bei höhern Graden der Verdünnung k überall = 1,42 werde.

Dulong, Mem. de l'Acad. **1831**. p. **147**. (gelesen **1818**) Ann. Ch. Phys. XLI. p. **113**. Poggend. Annalen XIV. p. **438**.

II. Ausfluß der Gase.

§. 9. Das Moment, mit welchem ein durch eine Kraft beschleunigter Körper auf ein Hinderniß drückt, ist das Product seiner Masse und der Beschleunigung. Bei Gasen von gleicher Elasticität ist daher die Beschleunigung, welche ein ausströmendes Theilchen in dem ersten Augenblicke erlangen würde, dem specifischen Gewichte verkehrt proportional. Allein die Elasticität und mit ihr die Beschleunigung nehmen während des Ausströmens ab, und das Theilchen erlangt zuletzt eine gleichförmige Bewegung, welche der Quadratwurzel der Elasticität proportional ist.

Atmosphärische Luft, die in einen leeren Raum einströmt, hat eine Geschwindigkeit von 394,83 Meter bei 0° C. Ist die Elasticität der Luft im Gefäße = e, und diejenige der freien Luft = e_1, den Druck einer Atmosphäre als Einheit genommen, so ist die Ausflußgeschwindigkeit = $394{,}83\ \sqrt{[e-e_1]}$

Für jedes andere Gas, dessen Elasticität = e und das specifische Gewicht = ϱ ist, ist die Geschwindigkeit

$$= 394{,}83\ \sqrt{[e\,(e-e_1)]} : \sqrt{\varrho}.$$

Ein Gas von der Dichtigkeit der Luft dringt in den leeren Raum mit der Geschwindigkeit von $394{,}83\ \sqrt{\varrho}$. Leichtere Gase strömen also schneller aus, Wasserstoff etwa vier mal so schnell als Sauerstoff. Für ein und dasselbe Gas ist bei einer jeden Temperatur $e : \varrho$ constant, die Geschwindigkeiten verhalten sich also wie die Quadratwurzeln der Elasticität. In höhern Temperaturen nimmt die Elasticität zu, $e : \varrho$ erlangt einen größeren Werth und der Ausfluß wird schneller. Er ist bei $t^0 = s\ \sqrt{[1+0{,}00375t]}$, wenn s die Geschwindigkeit bei 0° ist.

§. 10. Man nimmt gewöhnlich an, daß diese Größen von dem Dasein der Atmosphäre und der Schwere abhängig sind, und beweist die Formeln, indem man das Gas einer Flüssigkeit gleich setzt, welche dasselbe specifische Gewicht hat, und durch ihre Schwere einen gleichen Druck hervorbringt, wie das Gas durch seine Elasticität. Diese Vorstellung führt zwar auf Resultate, welche unter den Umständen, bei denen wir zu beobachten pflegen, richtig sind, allein in ihren Grundsätzen ist sie falsch. Bei tropfbar flüssigen würde in einem Raume, wo keine Schwere wirkt, gar kein Ausfluß statt finden; die Gase dagegen würden auch dort ganz so ausströmen, wie an der Oberfläche der Erde.

§. 11. Bei den Gasen, die aus einer Oeffnung in einer dünnen Wand strömen, sollte die Menge des in einer Secunde ausfließenden so groß sein, wie eine Säule, deren Basis der Oeffnung gleich ist, und deren Höhe dem von dem Gase in einer Secunde zurückgelegten Raume. Aber wie es bei dem tropfbar flüssigen eine Vena contracta giebt, so ist auch bei den Gasen die Menge des ausfließenden kleiner als oben angegeben ist, und beträgt nach verschiedenen Angaben nur zwischen 0,5 bis 0,7 der berechneten Menge. Daubuisson, der mit Oeffnungen von 10-30 Millimetern sehr genaue Versuche angestellt hat, findet im Durchschnitte 0,65. Schmidt, bei Oeffnungen von 0,6-1,4 im Durchmesser, nur 0,52 was vermuthlich zu wenig ist. Die Messung ist schwierig, weil das Gas sehr schnell ausströmt und kleine Veränderungen in der Weite der Oeffnung und in der Dicke der Wand einen bedeutenden Einfluß auf die Größe des Coefficienten haben.

Bei Wasserstoff, Kohlensäure und dem Gase aus Steinkohlen hat der Cöfficient beinahe dieselbe Größe, wie bei der atmosphärischen Luft.

Die Ursache dieser Verminderung im Ausflusse ist also von der Beschaffenheit der Gase wahrscheinlich unabhängig und bloß mechanisch. Sie scheint mir folgende zu sein: Die ausströmenden Theile haben zwar alle die §. 9 angegebene Geschwindigkeit, aber ihre Richtungen convergiren, indem eine jede von der Oeffnung nach dem Innern des Gefäßes gezogene Linie die Bahn eines Lufttheilchens sein kann. Zerlegt man jede dieser Richtungen in zwei andere, perpendiculär und parallel der Ebene der Wandöffnung, so werden diese sich gegenseitig aufheben; jene aber geben gehörig summirt die mitt-

lere Geschwindigkeit des Gasstroms. Ob die nach dieser Voraussetzung berechnete Geschwindigkeit mit den Beobachtungen übereinstimmt, ist jedoch bis jetzt noch nicht untersucht.

§. 12. Kurze Ansatzröhren von cylindrischer oder konischer Gestalt haben auf die Gase fast denselben Einfluß wie auf benetzende Flüssigkeiten, indem was dort die Adhäsion bewirkt, hier durch die Elasticität hervor gebracht wird.

Ueber den Ausfluß der Gase aus langen Röhren giebt es nur wenige zuverlässige Beobachtungen, und die schöne Gelegenheit, welche die langen zur Gasbereitung dienenden Röhren darbieten, ist bis jetzt nur wenig benutzt worden. Man weiß jedoch, daß auch hier die Analogie mit dem Ausflusse der flüssigen und gasförmigen Körper fortdauert, obgleich in den Bewegungen wesentliche Unterschiede stattfinden. Bei Flüssigkeiten nämlich ist in cylindrischen Röhren die Geschwindigkeit constant; bei Gasen dagegen, ist die Elasticität und also auch die Geschwindigkeit sehr bedeutenden Veränderungen unterworfen.

Sobald die Länge einer cylindrischen Röhre die Grenze überschritten hat, wo die Gestalt der Oeffnung im Gefäße von Einflusse ist, finden folgende Regeln statt, wenn man Widerstand die Differenz in der Elasticität des ausströmenden Gases am Anfange der Röhre und an einem andren Orte derselben nennt.

Der Widerstand ist fast proportional der Länge der Röhre und dem Quadrate der mittleren Geschwindigkeit des Ausflusses, man mag den Druck an verschiedenen Orten einer Röhre beobachten, oder an den Enden von Röhren gleicher Weite aber verschiedener Länge.

Er ist ferner dem Durchmesser der Röhren verkehrt proportional.

Die Geschwindigkeit des Ausflusses bei verschiedenen Gasen steht bei langen Röhren ungefähr in demselben Verhältnisse wie bei Oeffnungen in einer dünnen Wand.

§. 13. Die Hauptversuche über den Ausfluß der Luft sind von Daubuisson, und wie alle Arbeiten dieses Naturforschers in Form und Inhalt ausgezeichnet. (Ann. Chim. Phys. **1826.** XXII. p. **327** und **1827.** XXXIV. p. 380.)

Th. Young, Philos. Transact. 1800. abridg. **XVIII. p. 106. Gilb. Ann. XXII. p. 249.**

Girard, Memoir. de l'Acad. 1826. V. p. 11. Ann. Chim. Phys. XVI. 129. über Steinkohlengas und Luft.

Schmidt in Gießen, Gilb. Annal. 1820. LXVI. p. 39-83.

Lagerhjelm. Mir war nur der Auszug, den Navier Ann. Chim. Phys. 1825. XXI. 204. davon giebt, zugänglich.

Koch, Studien des Göttinger Vereins bergmännischer Freunde. 1. Band. 1824 und weit ausgedehntere Untersuchungen. 3. Band. 1833.

Navier, Memoir. de l'Acad. 1830. IX. 311—378.

Die Literatur der ältern und der theoretischen Arbeiten hat Muncke in dem Artikel Pneumatik des gehlerschen Wörterbuches beinahe vollständig mitgetheilt. In den Urtheilen über den Werth der Beobachtung kann ich dem gelehrten Verfasser nicht beistimmen, wenn er z. B. die Arbeit des genialen Th. Young unbedeutend nennt, und die fleißigen, aber weder im theoretischen noch im practischen Theile fehlerfreien Untersuchungen seines Freundes G. G. Schmidt bei jeder Gelegenheit hervorhebt und sehr ausführlich mittheilt.

III. Diffusion von Gasen.

Das daltonsche Gesetz über heterogene Gase.

§. 14. Wenn man zwei Recipienten, welche heterogene Gase enthalten, mit einander verbindet, so werden drei verschiedene Kräfte thätig.

1) Die Elasticität gleicht sich in beiden Gasen aus. Dieses geschieht wegen der bedeutenden Ausflußgeschwindigkeit der Gase mit großer Schnelligkeit, wenn die Gefäße nicht durch sehr lange und sehr enge Röhren von einander getrennt sind.

2) Die Gase lagern sich nach ihrem specifischen Gewichte über einander.

3) Es verbinden sich die heterogenen Gase mit einander, und das Gasgemisch ist nicht eher in Ruhe, als bis der Stoff sowohl als die Elasticität in dem ganzen Raume vollkommen gleichförmig wird, beide Gase also den Raum stetig ausfüllen, und der Einfluß des specifischen Gewichtes gänzlich aufgehoben ist.

§. 15. Diese Erscheinungen sind denjenigen, welche man beim Zusammengießen von Wasser mit Alkohol oder einer Salzlösung beobachtet, sehr ähnlich. Zuerst stellt sich die Oberfläche horizontal, das hydrostatische Gleichgewicht wird im Ganzen hergestellt. Dann

bilden sich in dem Innern Strömungen, durch welche der leichtere Bestandtheil nach oben hin geführt wird. Diese Strömungen kann man leicht beobachten, weil die Materie, aus welcher sie bestehen, eine etwas andere Lichtbrechung hat, als die umgebende Flüssigkeit. Zu gleicher Zeit vereinigen sich die beiden Bestandtheile an den Berührungsflächen zu einer homogenen Verbindung, und dieses dauert fort, bis in der ganzen Flüssigkeit, sowohl der Alkohol oder das Salz, als das Wasser vollkommen gleichförmig verbreitet sind. Jedoch ist der Proceß selbst in den gewählten Beispielen, wo die Umstände der Verbindung sehr günstig sind, erst nach längerer Zeit vollendet, auch dann, wenn man die Verbindung durch Schütteln beschleunigt. Auch bei Gasen ist die Verbindung erst spät ganz gleichförmig geworden; aber Beweise von der beginnenden Vermischung beider Gase nahm Dalton selbst dann schon nach einer halben Stunde wahr, als er sie durch eine 800 Millimeter lange und 9 Millimeter weite Röhre von einander getrennt hatte, und das leichtere Gas zu dem schwerern hinabsteigen ließ; ähnliche Beobachtungen haben Berthollet u. A. angestellt. Auch bei den Gasen unserer Atmosphäre nimmt man diese Vermischung wahr, und nur dann wird sie niemals vollständig, wenn der Verlust, den die niedern Schichten erleiden, immer von neugebildetem Gase ersetzt wird. Dieses ist z. B. der Fall bei der Kohlensäure in der Hundsgrotte, in dem Upasthale auf Java und in der Atmosphäre über den Continenten überhaupt, bei dem Wasserdampfe, bei den Gasen, die aus Vulkanen aus Hüttenwerken aufsteigen u. a. m.

§. 16. Die Ursache dieser Vermischung kann eine Anziehung der homogenen Theile oder eine Abstoßung der heterogenen sein. Bei tropfbaren Flüssigkeiten ist offenbar das erste der Fall. Das specifische Gewicht ist dabei von keinem bedeutenden Einflusse. Oele, welche ein dem Alkohol gleiches specifisches Gewicht haben, verhalten sich gegen Wasser ganz anders wie jener. Die Gase aber mischen sich alle vollkommen, welches auch ihre chemische Beschaffenheit sein mag, und die einzige Eigenschaft, welche einen Einfluß auf die Schnelligkeit der Mischung hat, ist das specifische Gewicht. Wir dürfen daher die Ursache nicht in einer Anziehung suchen, die, wo wir sie in diesem Gebiete treffen, von der innern Beschaffenheit der Körper abhängt; sondern in der Abstoßung zwischen den

gleichartigen Theilen eines Gases, deren Dasein schon aus der Elasticität der Gase selbst hervorgeht.

Nach dem Vorgange Daltons, dem wir unsere Kenntnisse von dieser ganzen Lehre verdanken, will ich dieses Bestreben der Gase, sich in Räume, die mit andern Gasen gefüllt sind, gleichförmig zu verbreiten, Diffusion nennen (Gilb. Annal. XXI. p. 388).

Diese auf homogene Theile sich beschränkende Abstoßung findet sich auch bei den Dämpfen, deren Entwickelung aus einer Flüssigkeit nur dann aufhört, wenn diese durch eine Schicht eines gleichartigen Dampfes von gewisser Elasticität gedrückt wird. Dasselbe ist der Fall bei Absorption von Gasen durch feste sowohl als durch flüssige Körper. Die Anwesenheit eines fremdartigen Gases kann zwar die Verdampfung oder den Niederschlag in den absorbirenden Körpern verzögern, hat aber auf den Zustand des Gleichgewichtes gar keinen Einfluß.

§. 17. Die Geschwindigkeit, mit der diese Vermischungen von Statten gehn, ist durch Erfahrung schwer zu bestimmen. Wenn zwei Gase von gleicher Elasticität, aber verschiedenem specifischen Gewichte in Verbindung treten, so wird wahrscheinlich das leichtere Gas, welches bei einer kleinen Masse eine eben so große Spannkraft hat, mit größerer Geschwindigkeit in den Raum, den das andere einnimmt, streben, als dieses in den Raum des dünnen Gases; der Wasserstoff also schneller in den Sauerstoff dringen, als dieser in jenen. Aber dadurch wird die Elasticität gestört, und sich augenblicklich durch eine Rückströmung in das Wasserstoffgas-Gefäß wieder herstellen. Die Beschaffenheit der Gase wird also schnell verändert, und zwar aus Ursachen welche nicht leicht in Rechnung gezogen werden können. Daß die Vermischung zweier Gase mit einem dritten bei dem leichtern Gase schneller fortschreitet, als bei dem schwerern geht aus Berthollets Versuchen hervor. (Siehe §. 28.)

Wenn ein comprimirtes Gemisch zweier Gase aus einer Oeffnung strömt, so sollten die beiden Bestandtheile eine verschiedene Geschwindigkeit annehmen, und sich theilweise trennen. Aber zum Trennen von Gasen, wie zum Verbinden, gehört Zeit; und diese fehlt bei schnellen Ausflüssen. Bei geringer Geschwindigkeit wird die Trennung in der That bemerkbar und wie ich im Folgenden zeigen werde, bei sehr langsamen Ausflusse so stark, daß die Ver-

änderung in den Bestandtheilen des Gemisches bald bemerkbar wird.

Diese Bewegungen, welche aus dem Streben nach physischen Verbindungeu hervorgehen, sind wohl zu unterscheiden von den aerodynamischen. Wenn vor der Oeffnung, aus welcher ein comprimirtes Gas ausströmt, sich ein flüssiger oder fester Körper befindet, so wird er mit fortgerissen. Aus demselben Grunde wird auch ein fremdes Gas in Bewegung gesetzt, ohne daß man daraus auf eine Abstoßung zwischen den heterogenen Gasen schließen darf. Hier wirkt eine bloß mechanische Kraft, währeud die Ausbreitung des homogenen Gases durch den ganzen ihm zugänglichen Raum eine Folge von Molecularkräften ist.

§. 18. Die Atmosphäre der Erde ist eine physische Verbindung von Sauerstoff- und Stickstoffgas. Sie ist keine chemische Verbindung; denn sie verhält sich im specifischen Gewichte, in der Lichtbrechung, in ihrem Verhältnisse zur Wärme, in der Leichtigkeit den Sauerstoff auf physischem oder chemischem Wege auszuscheiden, ganz wie ein Gasgemisch. Ueberdieses haben ihre Bestandtheile nicht die Proportion, welche man sonst an allen chemischen Verbindungen, besonders deutlich an den Gasen, beobachtet. Wenn man überall, an freier Luft wie im Krankenzimmer, die beiden Hauptbestandtheile in demselben Verhältnisse gemischt findet, so rührt dieses her von der bedeutenden Quantität des Sauerstoffes in einem viele Kubikmeter umfassenden Raume; von der Leichtigkeit, mit der sich die Gase verbreiten und einen durch Athmen oder Brennen entstandenen Verlust ersetzen, und von Mängeln unsere Eudiometer, welche in einzelnen Beobachtungen den Sauerstoffgehalt nicht auf 0,5 ja 1 Procent der Luftmenge genau geben. Bei einer chemischen Verbindung beider Gase würde, wenn Sauerstoff verzehrt ist, nicht dieser, sondern atmosphärische Luft oder Kohlensäure den Verlust ersetzen. Bei einer physischen Verbindung dagegen tritt Sauerstoff hinzu, sogar wo die Elasticität nicht verändert ist. Jenes constante Verhältniß in den Bestandtheilen der Luft, welches man als Argument für die chemische Ansicht angeführt hat, spricht vielmehr entschieden für die physische.

§. 19. Damit die Atmosphäre im Gleichgewichte sei, muß zwei Kräften genügt werden, der Diffusion und der Schwere. Dieses scheint auf zweifache Weise möglich zu sein:

1) Indem in allen Schichten das Verhältniß von Sauerstoff und Stickstoff gleichförmig ist;

2) indem man die Atmosphäre als die Summe zweier Atmosphären ansieht, von denen die eine bloß aus Stickstoff, die andere bloß aus Sauerstoff besteht.

§. 20. Die zweite Ansicht wird von Dalton selbst und den Anhängern sowohl als den Gegnern seiner Lehre für eine nothwendige Folge derselben gehalten. Ich will sie zuerst entwickeln.

Die beiden Hauptbestandtheile der Luft haben sich unabhängig von einander in Gleichgewicht gesetzt; die Dichtigkeit der Sauerstoffschichten z. B. hängt nur von dem darauf gelagerten Sauerstoffe ab. Unter dieser Voraussetzung habe ich nach den besten vorhandenen Beobachtungen folgende Tabelle berechnet. Es ist dabei angenommen, daß die Atmosphäre blos aus Sauerstoff und Stickstoff besteht;

daß die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft gegen Wasser bei 0^0 C. $=$ 0,0012991 ist;

des Queckſilbers gegen Wasser $=$ 13,59.
des Sauerstoffes gegen Luft $=$ 1,1026.
des Stickstoffes " " 0,9760.

also die Logarithmen der Dichtigkeit gegen Queckſilber,

in der atmosphärischen Luft $=$	4,019578
im Sauerstoffe	4,030128
im Stickstoffe	3,977160

In der Gleichung $h = A \operatorname{Log}.\frac{b}{b_1}$ für 0^0 C. und 45^0 der Breite zwischen den Barometerhöhen auf beiden Stationen (b und b_1) und der verticalen Höhe in Metern (h), ist der Werth von A, nach allen Reductionen

für atmosphärische Luft	18358,7
Sauerstoffgas	16616,6
Stickstoffgas	18811,4

Der Coefficient von Ramond ist 18336 Meter. Der Unterschied rührt zum Theil von einer Correction her, die in Ramonds Coefficienten fehlt, in dem meinigen aber aufgenommen ist. Uebrigens sind die Bedingungen, nach welchen Ramond seinen Coefficienten berechnet hat, so verschieden von den unsrigen, daß auch ein größe-

rer Unterschied gerechtfertigt würde. Seine Luft war feucht, hatte wechselnde Temperaturen, und das specifische Gewicht der Luft gegen Wasser, auf welchem unser Coefficient beruht, ist um einige Zehntausendstel ungewiß.

§. 21. Tabelle über den Druck, welchen eine wasserfreie Atmosphäre von der Dichtigkeit unser Luft, eine bloß aus Sauerstoff und eine bloß aus Stickstoff bestehende in verschiedenen Höhen auf das Barometer ausübt, wenn ihr Druck an dem Niveau des Meeres 760, 179 und 581 Millimeter beträgt.

Höhe in Metern	Barometrischer Druck von: Atm.Luft a	Sauerstoff b	Stickstoff c	Differenz a-b-c	Verhältn. c: b.
0000	760,000	179,000	581,000	0,000	3,2458
1000	670,414	155,877	514,061	373	2979
2000	591,387	135,710	454,839	808	3508
3000	521,677	118,205	402,437	1,035	4016
4000	460,183	102,935	356,073	175	4592
9000	405,539	89,638	315,050	251	5147
6000	358,087	78,058	278,754	275	5711
7000	315,877	67,975	246,639	263	6284
8000	278,643	59,194	218,224	225	6866
9000	245,797	51,547	193,083	167	7453
10000	216,825	44,888	170,838	099	8059

Eine nach Daltons Lehre zusammengesetzte Luft würde also eine kleinere Dichtigkeit haben, als man unter der Voraussetzung einer vollständigen Gleichförmigkeit finden würde. Der Unterschied erreicht sein Maximum zwischen 6—7000 Meter und nimmt dann allmälig ab, in einem weit stärkern Grade als die Elasticität selbst.

Die relative Menge des Sauerstoffes nimmt aber in geometrischer Progression mit der Zunahme der Höhe ab; so, daß bei der größten Höhe, die man erreicht hat, etwa 8000 Metern, in 100 Gewichtstheilen Luft nur 21,33 Sauerstoff sind, statt 23,55, die man an der Meeresfläche findet.

§. 22. Man hat Beobachtungen auf Bergen von verschiedener Höhe angestellt und darin bald eine Bestätigung, bald eine Widerlegung der daltonschen Theorie zu finden geglaubt. Brun,

ner hat durch eudrometrische Analysen der Luft auf dem Faulhorn, etwa 2600 Meter hoch, 20,9 p. c. Sauerstoff gefunden, statt 20,2 wie es nach seiner Meinung bei der daltonschen Theorie sein sollte. In der Tiefe, d. h. gegen 800 Meter hoch, war es 21,1 p. C. Er glaubt darin eine Widerlegung der Theorie zu sehen. Aber durch barometrische und eudiometrische Beobachtungen kann die Theorie weder widerlegt noch bewiesen werden. Die ungleichförmige Mischung der Luft setzt eine vollkommene Ruhe der atmosphärischen Schichten im Sinne der Höhe voraus, die gänzliche Abwesenheit auf- und absteigender Luftströme. Aber diese Bedingung wird nicht erfüllt. Der Luftraum ist beständig, nicht nur von horizontalen, sondern auch von verticalen Strömungen durchzogen; auf Bergen sind diese, wie jeder Bergreisende weiß, vorzüglich stark und würden hinreichen noch weit größere Differenzen in den Mischungen auszugleichen; denn die Vereinigung welche die Diffusion der Gase nur sehr langsam bewirkt, wird von den Winden schnell zerstört.

§. 23. Indessen folgt aus der Repulsion zwischen den gleichartigen und der Indifferenz zwischen den ungleichartigen Gasen keinesweges eine Veränderung in der Mischung der obern Luftschichten. Die Abnahme der Elasticität in der Höhe rührt her von dem Drucke der obern Schichten. Diese wirkt hierbei bloß durch ihr Gewicht, die Beschaffenheit des Gases ist dabei ohne allen Einfluß. Eine Wolke, ein Luftballon würden ganz eben so wirken, wie auch dem Wasser mechanisch beigemengte fremde Stoffe denselben Druck hervorbringen, wie die Wassertheilchen selbst. Man bedient sich, um hydrostatische und aerostatische Sätze elementar zu beweisen, zuweilen der Vorstellung, daß man die Schichten durch eine feste Wand von einander trennt, und setzt voraus, daß das Gleichgewicht dadurch nicht gestört werden könne. Theilt man nun die Luft in einer gewissen Höhe, z. B. von 3000 Metern, durch eine solche Wand, so müßte nach der gewöhnlichen Auffassung der daltonschen Methode der untere Raum dennoch sein Gleichgewicht verlieren, und die Gase sich anders vertheilen.

Die Luft also ist nach unserer Ansicht, die in ihren Principien mit der daltonischen übereinstimmt, ganz gleichförmig gemischt, und die Elasticität nimmt in der Höhe so ab, wie in einem einfachen Gase von dem specifischen Gewichte der atmosphärischen Luft.

§. 24. Dasselbe gilt auch von dem Schalle. Wenn dieser sich durch die einzelnen Bestandtheile der Luft, wie durch selbstständige Atmosphären fortpflanzte, so müßte man zwei Schälle nach einander hören, den ersten durch das Stickstoffgas, den zweiten durch das Sauerstoffgas. Man hört aber nur einen Schall, und Daltons Theorie wäre durch die Erfahrung widerlegt. Denn der Schall durch den Sauerstoff, obgleich schwächer als der andere, würde, wie man an Versuchen im Recipienten der Luftpumpe sehen kann, immer noch sehr vernehmlich sein. Auch ist die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft nicht derjenigen gleich, welche im Stickstoffe allein ist, und die man nach der laplaceschen Formel berechnen kann; sondern wie in einer homogenen Luft von der Dichtigkeit und der Wärmecapocität der Atmosphäre (§. 8.)

Aber Dalton hat beim Schalle, wie bei der Abnahme der Elasticität in der Höhe, seinen Gegnern mehr eingeräumt als nothwendig war. Die durch eine Erschütterung in Bewegung gesetzte Luftschicht, stößt auf die folgende Luft nicht etwa vermöge ihrer Repulsion; sondern wie sie auf das Trommelfell, auf Wasser und andere ihrer Ausdehnung entgegen gesetzte Körper stößt, und die Wirkung des Stoßes in der folgenden Schicht ist, wie die, welche der Stoß eines festen Körpers hervorbringen würde, eine Compression. Auch beim Schalle also wirkt die Luft als ein Ganzes.

§. 25. Die Literatur über Daltons Gesetz ist sehr reich, weil es lebhaft bekämpft und vertheidigt wurde. Dalton ist strenger Atomist, fast zu sehr für die späterhin durch Laplace herrschend gewordenen Ansichten. Aber diesen Standpunkt zugegeben, steht er keinem seiner Zeitgenossen nach an Genialität in der Erfindung, an Consequenz, an Gelehrsamkeit und an Klarheit in der Darstellung. Er ist ein Physiker ersten Ranges. Seine Gegner sind dagegen größtentheils sehr unbedeutend. Sie führten eine Menge von Gegenständen an, die Dalton meistens längst gekannt, aber zu widerlegen nicht nöthig gefunden hatte. Auch in der neuesten physikalischen Literatur hat man den Kampf über Daltons Ansicht fortgeführt, zuweilen ohne den Gegenstand des Streites genau zu kennen.

Dalton, Manchest. Memoirs N. S. I. p. 107. Nichols. Journ. VIII. p. 145; IX. p. 89. 269. Philos

Transact. 1826. p. 174. Gilb. Annal. XII. 1802, p. 385; XIII. p. 483; XIV. p. 95. XV. p. 24, 50, 123; XVII. p. 93, 369; XXI. an mehreren Orten; XXV. p. 434; XXVI. p. 388; XXVII. p. 385; XLII. 1812 p. 155.

J. Gough, Nichols. Journ. VIII. p. 243; IX. p. 52, 107. Ein heftiger aber sehr unbedeutender Gegner von Dalton.

Berthollet, Mem. d'Arcueil II. p. 403. Poggend. Annal. 1829. XVII. p. 341.

Thomson in seinen Elements of chimistry. Einige Einwendungen, die Dalton beseitigt.

Henry, Nichols. Journ. VIII. p. 297; Gilb. Annal. 1805. XXI. p. 393. Führt Beobachtungen zu Daltons Gunsten an.

Tralles, Gilb. Annal. 1807. XXVII. p. 400. Einer der bessern Gegner Daltons. Tralles Arbeiten sind alle sehr ausführlich und deutlich. Man stößt jedoch nur selten auf einen neuen Gedanken.

Olbers, Gilb. Annal. 1814. XLIX. p. 154.

Benzenberg nimmt Daltons Ansichten an mehreren Orten in Schutz, zuletzt in einem Werkchen über Daltons Theorie 1830. 192 Seiten. Die Göttinger Anzeigen 1830. N. 196. enthalten eine sehr gut geschriebene Recension dieses Buches (von Ed. Schmidt?).

Brunner, Poggend. Annal. 1834. XXXII. p. 8.

Grahams Gesetz über die Bewegung von Gasgemischen durch enge Kanäle.

§. 26. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein comprimirtes Gas aus einer Oeffnung fließt, nimmt ab, wenn die Länge der Röhre größer wird im Verhältniß zu ihrer Weite. Sie ist daher kleiner bei einem Aggregate von einander gleichen, engen Röhren, als bei einer weitern Röhre von gleicher Länge als jene und von einem Querschnitte, welcher der Summe der Querschnitte der engern Röhren gleich ist. Die Molecularbewegung dagegen, durch welche heterogene Gase sich mischen, scheint von der Länge unabhängig zu sein, also in jenem System von Röhren eben so groß, als in der weitern. In Kanälen von einigen Decimetern Länge, und einem

oder mehreren Millimetern Weite ist der Ausfluß so schnell, daß er vollendet ist, ehe die Gase eine Veränderung in ihrer Mischung erleiden können. Je enger aber die Röhre, desto merklicher wird der Einfluß der Diffusion im Verhältniß zur aerodynamischen Bewegung, und dauert noch fort, wenn auch die Kanäle so eng sind, daß die Ausströmung selbst ganz unmerklich geworden ist.

Faraday, der ein Gas in eine Flasche mit eingeriebenem Glasstöpsel brachte, oder den Gas-Recipienten von der atmosphärischen Luft durch den capillären Raum zwischen zwei an einander geschliffener Glasplatten, oder durch Metallplatten, in denen feine Ritzen waren, trennte, fand nach einiger Zeit einen Theil des Gases durch atmosphärische Luft ersetzt. Selbst zwischen dem sperrenden Quecksilber und dem Glase hatte sich die Luft oft eine Bahn zu öffnen gewußt. Dasselbe ist der Fall, wenn die beiden Recipienten durch feine Spalten im Glase, durch Papier und andere poröse Körper getrennt sind. Je feiner und zahlreicher die Poren, desto mehr treten die aerodynamischen Bewegungen in den Hintergrund, und desto deutlicher sprechen sich die Erscheinungen aus, welche auf der Repulsion zwischen den homogenen Theilen eines Gases beruhen. Bei den sehr feinen, nicht einmal durch das schärfste Mikroscop sichtbaren Poren in organischen Membranen, in sehr dünnem Kautschuck, gebranntem und dann mit Wasser behandeltem und getrocknetem Gyps oder feiner, unglasurter, irdener Masse, verschwindet die aerodynamische Kraft, d. h. das Streben der Gase in Masse und in Folge von Druck durchzudringen, fast gänzlich, und es bleibt nur die Diffusion übrig.

§. 27. Mit Blasen und später mit Gyps hat Graham eine schöne Reihe von Versuchen angestellt. Die verschiedenen Gase drangen durch die Poren mit einer Geschwindigkeit, die der Quadratwurzel ihres specifischen Gewichtes verkehrt proportional war, also mit demselben Verhältnisse, welches sie beim Ausströmen durch weite Oeffnungen beobachten. Wenn z. B. Wasserstoffgas und Kohlensäure durch den porösen Körper getrennt werden, so dringt der Wasserstoff fast fünf mal so schnell durch, als die Säure. Die Elasticität des Gases nimmt daher in dem Recipienten, wo sich die Säure befindet, zu, während in dem andren Recipienten der Verlust an Gas durch den Eintritt der Säure bei weitem nicht ersetzt wird. Man beobachtet dieses unter andern, wenn eine das Gas haltende Röhre unten

mit Queckſilber geſperrt und oben durch eine Blaſe von der Atmoſphäre oder dem innern Raume eines Recipienten getrennt wird. Natürlich wirkte die ungleich gewordene Elaſticität nachtheilig auf die Diffuſion ein, und Graham hatte daher die Vorſicht die Gaſe in beiden Behältern ſtets in einer gleichen Elaſticität zu erhalten, oder da der eine Behälter gewöhnlich die Atmosphäre ſelbſt war, den Druck des innern Gaſes dem atmoſphäriſchen gleich zu machen.

§. 28. Die Diffuſion der chemiſch homogenen Gaſe hat daher folgende der Quadratwurzel des ſpeciſiſchen Gewichtes proportionale Werthe:

Waſſerſtoffgas	1,00.	Schwefelwaſſerſtoffgas	4,45.
Kohlenwaſſerſtoffgas	2,86.	Kohlenſäuregas	5,67.
Waſſerdampf	3,00.	Stickſtofforydulgas	4,71.
Kohlenoxydgas	3,76.	Alkoholdampf	4,92.
Stickſtoffgas	3,77.	Schweflige Säuregas	5,67.
Oelbildendes Gas	3,78.	Chlorgas	5,96.
Sauerſtoffgas	4,01.	Aetherdampf	6,12.

Der Waſſerſtoff geht daher weit leichter durch enge Poren, z. B. zwiſchen Glasſtöpſel und Flaſche, oder durch eine feine Spalte im Glaſe, als atmoſphäriſche Luft. Kohlenſäure dagegen verbreitet ſich bedeutend langſamer. Von den Dämpfen bahnt ſich Waſſerdampf den Durchgang leichter als Alkoholdampf, und wenn ſich in einem Raume Waſſer- und Alkoholdampf gemiſcht vorfinden, z. B. in einem Weingeiſt haltenden, mit Blaſe umbundenen Gefäße, ſo verdampft das Waſſer in größerer Menge und der Weingeiſt wird ſtärker. Hierauf beruht die von Sömmering beobachtete Veredlung des Weingeiſtes. Er überſah jedoch hierbei einen Umſtand, der ſeine Beobachtungen ſehr unregelmäßig machte, nämlich den Waſſerdampf-Gehalt der äußern Luft. Iſt die Luft mit Feuchtigkeit beinahe geſättigt, wie es in Kellern gewöhnlich iſt, ſo verdampft faſt kein Waſſer, und der Weingeiſt wird ſchwächer. Bei gewiſſen Feuchtigkeitsgraden der Luft und Miſchungsverhältniſſen im Weingeiſt verdampft Waſſer und Alkohol in demſelben Verhältniſſe, in welchem ſie im Weingeiſte ſind, und dieſer bleibt daher unverändert .Dieſe Größen laſſen ſich leicht berechnen.

§. 29. In allen diesen Fällen ist die Beschaffenheit des porösen Körpers bloß in so fern von Einfluß, als die Diffusion m. a. w. langsam wird. Die Verhältnisse bei verschiedenen Gasen bleiben unverändert man mag sich der organischen Häute, oder poröser Steine, oder der Spalten im Glase bedienen. Ein Beweis, daß, überall dieselbe Kraft thätig ist, und daß hierbei kein sogenanntes dynamisches Durchdringen der Häute statt findet, welches viele Physiologen annehmen; sondern ein Durchwandern von Poren, wobei die feste Körper nur die passive Rolle von Wänden spielt.

§. 30. Ganz davon verschieden sind die Erscheinungen, wenn die Membran mit Wasser oder andren Flüssigkeiten durchzogen ist. Dann versperrt sie, wie schon Reaumur beobachtet hat, den Gasen den Durchgang, selbst bei bedeutendem Drucke z. B. von einer Atmosphäre, und diejenigen nur können hindurchgehen, welche von dem Wasser u. s. w. absorbirt, d. h. flüssig gemacht werden können. (Siehe Cohärenz der Flüssigen, Absorption). Die Kohlensäure dringt nur sehr schwach durch eine trockene Blase. Durch eine feuchte dringt sie dagegen leicht, während Wasserstoff und die Gase der atmosphärischen Luft zurückgehalten werden. Eine feuchte, atmosphärische Luft haltende Blase in einen Recipienten mit Kohlensäure gebracht, schwillt dabei so stark an, daß sie platzt. Auf ähnliche Weise verhält sich das ebenfalls leicht absorbirte Schwefelwasserstoffgas. Daß dieses in der That nur eine Folge von Absorption ist, geht namentlich aus Baumgartner's Versuchen hervor, nach denen die Kohlensäure auch durch Blase, die mit Alkohol befeuchtet ist, geht, aber nicht durch eine ölfeuchte Blase. Die Kohlensäure wird nämlich von dem Alkohol in Menge, von den Oelen aber nicht merklich absorbirt.

Vermuthlich rührt es von ähnlichen Ursachen her, daß Aether leichter durch Kautschuck geht, als Wasser- oder Weingeistdampf.

§. 31. Da die Wärme das specifische Gewicht der Gase vermindert, so ist zu erwarten, daß die Diffusion in hoher Temperatur vermehrt werde. Indessen ist mir nur eine Beobachtung darüber bekannt. Priestley sah nämlich, als er sich mit der Analyse des Wassers beschäftigte, daß aus der glühenden Thonröhre, durch welche die Dämpfe strichen, auch andere Gase, besonders Stickstoff austraten. Nach langen Umwegen erkannte er endlich den Grund in dem

Eindringen der atmosphärischen Luft durch die Poren des Thons. Priestley fand diesen zwar in der Kälte undurchdringlich für Luft unter gewöhnlichem Druck. Aber alle Stoffe, welche auf diesem Wege Gas durchließen, waren auch unter der Luftpumpe nicht luftdicht. Es ist in diesem Versuche Diffusion und nicht aerodynamische Bewegung, weil das durch das Innre strömende Gas eine größere Elasticität hatte als das eindringende.

§. 32. Die von Graham u. A. beobachteten Bewegungen hängen innig zusammen mit dem Streben der Gase sich in zwei verbundenen Recipienten gleichförmig zu verbreiten, überhaupt mit der Abstoßung ihrer homogenen und der Indifferenz ihrer heterogenen Theile Sie sind eine Hauptstütze der daltonschen Lehre, von welcher diese Bewegungen ein nothwendiges Resultat sind. Die Hypothesen über die relativen Größen der Theilchen und die elektrischen Polarität, die gewöhnlichen Nothbehelfe der Physiker, die man anfangs auch hier anwendete, sind also unnöthig.

§. 33. Literatur.

Réaumer, Memoires de l'Academie 1714. p. 55.

Priestley, Versuche und Beobachtungen, Uebersetzung 1787. III. p. 62. Die Abhandlung ist auch durch ihre Form interessant, indem die Beschreibung der Irrfahrten, die Priestley macht, bis er endlich den wahren Grund findet, den Leser in beständiger Spannung erhält. Ich kenne keinen andren Physiker, der so ausführlich schriebe, ohne weitschweifig zu werden.

Seine Beobachtungen sind bestätigt worden von Deimann und Troostwyk, (Scherer N. Journal IV. p. 3.) und Pfaff (Schweigg. Journ. 1816. XVIII. p. 82.)

Sömmering, Kastner Archiv II. p. 340. Gilb. Annal. 1819. LXI. p. 104.

Faraday, Journ. of Roy. Instit. III. u. VII. Annals of Philos. N. S. XII. p. 388. Annal. Chim. Phys. 1817. V. p. 298; 1819. p. 388.

Döbereiner, Ann. Ch. Ph. 1823. XXIV. p. 332. Spalten im Glase.

Magnus, Pogg. Annal. 1827. X. p. 153. Membranen.

N. W. Fischer, Pogg. Annal. 1827. XI. p. 127. Membranen.

Th. Graham, Qu. Journ. of Science 1829. XI. p. 74. Schweigg. Journ. 1829. LVII. p. 215; Pogg. Annal. XVII. p. 341.

Derselbe, Lond. Edinb. Journ, of Sc. II. p. 175, 269, 351 Pogg. Annal. 1833. XXXIII. p. 331. Beide Abhandlungen gehören durch Inhalt und Darstellung zu den ausgezeichnetsten in der neuern Physik.

Mitchel. Seine Arbeit kenne ich nur durch einen Auszug in Berzelius Jahrbuch 1833. XII. p. 56. Atmospärische Luft befand sich in dem kurzen Schenkel einer Doppelröhre, die mit dünnem Kautschuck umbunden, in einen Recipienten mit Gas reichte; der lange Schenkel enthielt Queckſilber, deſſen Stand man beobachtete. Seine Resultate weichen auf den ersten Blick sehr ab von denen Grahams. Vermuthlich beobachtete er aber nicht das Steigen des Queckſilbers, sondern die Differenz seines Standes von dem anfänglichen, er mochte höher oder geringer sein. Dann ist's richtig, daß wenn die Gase auf beiden Seiten des Kautschucks von gleichem specifischen Gewichte waren, die Differenz = o wurde, aber zunahm, um so mehr je größer der Unterschied der Gewichte war, das Gas mochte schwerer oder leichter sein als die Luft.

Schweigger, Schweigg. Journ. 1830. I. p. 20. Einige theoretische Bemerkungen, die ich nicht ganz verstehe.

Faust, Froriep Notizen 1931. p. 1107. Versuche mit feuchter und trockner Blase.

Zweiter Theil.

Elasticität der flüssigen Körper.

§. 1. Die Elasticität eines Körpers wird beobachtet, entweder durch die Compression, welche er bei einem gewissen Drucke erleidet; oder durch die Dauer einer Schwingung, welche er macht, wenn er, durch eine fremde Kraft in seiner Dichtigkeit verändert, sie wieder zu erlangen strebt. Eine einzige Reihe von Versuchen ausgenommen, hat man die Spannkraft der Flüssigen nur auf die erste Weise untersucht, und da ein flüssiger Körper vermöge seiner Beweglichkeit nur dann in einem stabilen Gleichgewichte ist, wenn ein

jedes Theilchen überall gleich stark gedrückt wird, so hat man immer eine von allen Seiten gleiche Compression anwenden müssen.

Elasticität bei Compression.

§. 2. Die Compressibilität des Wassers wurde im siebenzehnten Jahrhunderte wegen einiger damals herrschenden Vorstellungen über die Natur der Flüssigkeit bezweifelt. Die Reflexion eines schief auf das Wasser geworfenen Steines und die Fortpflanzung des Schalles schienen aber dafür zu sprechen; Baco von Verulam, die Physiker der Akademie del Cimento und Andere aus ihrer und einer spätern Zeit wollten sich durch directe Versuche davon überzeugen. Man nahm gewöhnlich eine Kugel von Metall und suchte sie flacher zu hämmern, oder durch einen Hammer oder eine Schraube ein Stück Metall in das Innere einer Wassermasse zu treiben. Aber in keinem dieser Versuche waren die Metalle oder Fugen stark genug, dem Drucke zu widerstehen. Das Wasser drängte sich durch bereits vorhandene oder neu gebildete Spalten hinaus. Erst Canton erwies nicht nur das Dasein, sondern bestimmte auch die Größe der Compressibilität im Wasser, und andren Flüssigkeiten.

Er und fast alle seine Nachfolger bedienten sich folgender Methode: Ein Gefäß von Glas endigt sich in ein oben offnes, enges, dem Raume nach eingetheiltes Rohr, dessen Volumen in Beziehung zum Gefäße bekannt ist. In das Gefäß kommt die zu untersuchende Flüssigkeit, z. B. Weingeist. Man stellt es in einen mit Wasser oder Luft gefüllten Raum und drückt diesen durch geeignete Vorrichtungen zusammen. Das Gefäß mit dem Weingeist, wird dann von allen Seiten gleich stark comprimirt, und kann sein Volumen nicht bedeutend verändern. Bloß von Innen gedrückt würde es sich erweitern und die Compression kleiner angeben, als sie ist.

Eine kurze Säule von Queckſilber, Aether u. s. w. trennt die Flüssigkeit in dem calibrirten Glasgefäße von dem äußern, luft- oder wasserhaltigen Raume. Canton brachte sein Glas in den Recipienten einer Luftpumpe und comprimirte oder evacuirte. Der Bereich seiner Versuche ging daher nicht über 3—4 Atmosphären hinaus, aber sie wurden besonders beim Wasser oft wiederholt und sind recht genau.

Perkins tauchte dagegen sein Gefäß in eine Meerestiefe von einigen tausend Fuß, deren Druck er leicht berechnen konnte; oder er brachte auf mechanischem Wege sehr starke Compressionen hervor.

Oersted und nach ihm Colladon und Sturm brachten das Glasgefäß in einen Eisencylinder mit Wasser, welches sie durch eine Schraube zusammendrückten. Eine kleine calibrirte Röhre mit einer durch das Wasser des Gefäßes oder durch Quecksilber gesperrten Luftsäule gab durch ihre Zusammenziehung die Intensität des Druckes an. Diese Methode ist weit besser als den Druck unmittelbar durch die angewendete Kraft zu messen, welches wegen der zur vollständigen Absperrung des Wassers nöthigen Reibung, nur sehr ungenaue Resultate giebt.

Abich und Zimmermann, welche die letzte Methode gewählt und die wichtige Vorsichtsmaßregel, das Gefäß von allen Seiten gleich stark zu comprimiren, versäumt haben, konnten mit ihrem Apparate keine brauchbaren Resultate erlangen.

§. 3. Literatur.

Baco von Verulam suchte um 1600 eine Bleikugel flacher zu hämmern. Dasselbe thaten mit andren Metallen

Die Cimento um 1660 etwa (Tentamina edit. Musschenbroek. II. p. 58), die auch andere Wege einschlugen; Robert Boyle, Hon. Fabry (Phys. Tract. V. Libr. II. Prop. 217.) Colbert, Musschenbroek u. A. m.

Etwas abweichende, aber eben so ungenügende Methoden hatten Du Hamel (Philos. vetus & nova 1681. III); Hamberger (Elementa Physices 1727); Nollet (Leçons de Phys. I. p. 122).

Diese ältere Literatur haben Musschenbroek, in seinen Zusätzen zu den Tentamina und Zimmermann sehr vollständig.

Canton, Philos. Transact. 1762. p. 640. und 1764. p. 261. An Scharfsinn und Umsicht in den Versuchen und an Klarheit in der Darstellung unübertrefflich. Nur seine äußeren Mittel sind beschränkt.

E. A. W. Zimmermann, über die Elasticität des Wassers. 1779. 100 Seiten. 8. Der Apparat, der von Abich herrührt, verdiente nicht die Mühe, welche Zimmermann darauf verwendete, noch weniger den Ruf, den es bis auf die neuere Zeiten behauptet hat. Denn es ist unmöglich an ihm, sei es die Kraft, sei es die Wirkung genau zu beobachten. Indessen können die Ver-

hältnißmäßigen Compressionen, welche derselbe Druck auf verschiedene Flüssigkeiten hervorbrachte, nicht sehr falsch sein. Ich habe daher seine Angabe für Kochsalz und Milch, da mirbessere fehlten, nach denen, welche er beim Wasser hat, berechnet, und in meine Tabelle aufgenommen.

Oersted, Annales Chim. Phys. 1823. XXII. p. 192; 1828. XXXVII. p. 104. und XXXVIII. p. 326. Poggend. Annal. XII. p. 158; 513 u. a. O. Er hat seit dem Jahre 1823 mit Unterstützung der Regierung genaue und ausgedehnte Versuche angestellt. Aber die Erwartung der Physiker die Resultate kennen zu lernen, welche von einem so vorzüglichen Beobachter nur ausgezeichnet sein können, ist bisher getäuscht worden. Er hat sie bis jetzt nur für wenige Flüssigkeitenund nun beiläufig bekannt gemacht.

Man muß sich daher an die zahlreichen und genauen Versuche von Colladon und Sturm halten, (Annales Chim. Phys. 1824. XXV. p. 113), welche von der Akademie der Wissenschaften in Paris gekrönt sind.

Galy-Cazalat, Ferussac Bulletin mathem. 1827. VIII. p. 281, ein Auszug aus einem Werkchen Sur la compressibilité des liquides. 1827. Er concurrirte mit Colladon um den Preis der Akademie. Aber seine Methode verdient so wenig Vertrauen und seine Resultate weichen so sehr von den übereinstimmenden Colladons und Oersteds ab, daß wir sie gar nicht benutzen konnten.

§. 4. Die Berechnung hat nur eine Schwierigkeit, nämlich die Correction über die Raumänderung, welche das Gefäß durch den von allen Seiten wirkenden Druck erfährt. Nach Oersted wird die Wand des Gefäßes, wie eine frei in der Flüssigkeit liegenden Tafel, zusammengedrückt; der innere Durchmesser wird vergrößert, und die unmittelbare Beobachtung giebt eine zu große Compressibilität. Nach Colladon hingegen wird das Gefäß wie eine massive Glasmasse von der Gestalt und Größe des Gefäßes comprimirt, der innere Durchmesser also verkleinert; die Beobachtung giebt ein zu kleines Resultat, und die Correction wird positiv.

Bei einer Flüssigkeit, welche sich eben so stark comprimirt, wie das Glas des Gefäßes, würde also nach Colladon die Capacität des Gefäßes sich genau so stark ändren, wie das Volumen der Flüssigkeit, der als Index dienende Tropfen seine Stelle in der Röhre

unverrückt behalten, und die scheinbare Compression = o werden. Nach Oersted würde das Gefäß sich erweitern, und der Tropfen in das Gefäß hinabsinken. Hier ist das Recht ohne Zweifel auf Colladons Seite. Auch spricht für die letzte Ansicht die Beobachtung von Canton, der keinen Unterschied bei der Compression von Wasser in Gläsern von verschiedener Dicke der Wände fand, und seine Versuche waren genau genug, um ihn zu erkennen, wenn Oersteds Correction die richtige wäre. (Philos. Transact. 1762. p. 610.)

§. 5. Poisson, Annales Chim. Phys. 1828. XXXVIII. 330.) hat die Correction für eine in einem kugelförmigen Gefäße befindliche flüssige Masse bestimmt. Sie hängt ab von der Compressibilität des Gefäßes, seiner Gestalt und der Dicke der Wände, und ist verschieden sowohl von Colladons als Oersteds Methode. Aber, wenn ich recht verstehe, bezieht sich Poisson's Rechnung nur auf eine in dem Gefäße ganz eingeschlossene Flüssigkeit. So ist es aber nicht in der vorliegenden Beobachtung, wo die Flüssigkeiten innerhalb und außerhalb des Gefäßes, bloß durch einen Tropfen getrennt sind, der sich verschieben kann, so daß auf beiden Seiten des Glases immer derselbe Druck statt finden muß. Ich habe daher in der folgenden Tabelle die Correction nach Colladons Art angewendet, indem ich nach den im vierten Theile dieses Werkes mitgetheilten Resultaten die räumliche Contraction des Glases = 2,68 Milliontel auf eine Atmosphäre setze.

§. 6. Die Einheit des Druckes auf eine Fläche ist der atmosphärische Druck, = 0,76 Meter gesetzt.

Die Temperatur ist hunderttheilig. Sie ist von Canton und von Colladon, aber nicht von Oersted angegeben.

Das specifische Gewicht (ϱ) habe ich größtentheils selbst berechnet, da die Beobachter es vernachlässigt haben.

Der Modulus der Elasticität oder die Spannkraft (P) ist so berechnet, daß wenn die räumliche Compression durch eine Atmosphäre = a ist, P = 3 : a wird. P bezieht sich daher auf die lineare Zusammenziehung. Der Radius einer Wasserkugel z. B. wird durch den Druck einer Atmosphäre um $\frac{1}{59200}$ verkürzt.

Die beiden Rubriken Log. P und P : ϱ sind berechnet, jene, weil in der Regel nur Logarithmen bei der Rechnung gebraucht werden; diese, weil sie die innern Kräfte unabhängig von dem spe-

cifischen Gewichte zu geben scheint, wenn man annimmt, daß bei den Flüssigen, wie es bei den Gasen der Fall ist, unter übrigens gleichen Umständen die drückende Kraft dem specifischen Gewichte proportional sein werde. Ich nenne **P ϱ** den **Modulus der specifischen Elasticität**, oder die **specifische Spannkraft**

§. 7. Tabelle über die **Spannkraft der flüssigen Körper.**

Stoff.	Temp C.	spec. Gew. ϱ	Spann-kraft. P	Log. P	Spec. Spannkr. P : ϱ	Beobachter.
Queckſilber	0°	13,59	680000	5,830	50100	Collad.u.Sturm Oerſted, Canton
Waſſer	0°	1,000	95200	4,772	59200	Collad.u.Sturm
" lufthaltig	0	"	61400	778	61400	" "
" "	—	"	59000	771	59000	Oerſted.
" Regen	1	"	58500	767	58500	Canton.
	10	"	61700	790	61700	"
	18	1,001	61200	754	64200	"
Schwefelſäure	0°	1,850	95500	4,980	51600	Collad.u.Sturm
Salpeterſäure	0	403	95000	978	67700	" "
Eſſigſäure	0	080	71900	857	66600	" "
Salzſäure	0	153	77300	888	67000	Siehe §.12u.13.
Ammoniak	20°	0,830	80000	4,903	96100	" "
Seewaſſer	10	1,028	71000	851	69000	Canton
Kochſalz	—	205	50000	700	41000	Abich u. Zimmermann.
Milch	—	030	67000	830	65000	" "
Salzſ. Kalk		090	75500	878	69300	Siehe §.12. u.13.
Weingeiſt	11°6	0,790	31400	4,497	39700	Collad.u.Sturm
" "	—	"	32000	505	40500	Oerſted.
" "	1	854	47600	678	55700	Canton.
	10	846	43700	640	51700	"
	18	840	41300	616	49200	"
Schwefeläth.	0°	0,710	22700	4,356	32000	Collad.u.Sturm
	11,4	700	20500	312	29300	" "
	—		21700	336	31000	Oerſted.
Eſſigäther	0°	0,870	38100	4,581	43800	Collad.u.Sturm
Salz "	11,4	870	35200	547	40500	" "
Salpet. "	0	890	42400	627	47600	" "
Terpentinöl	0°	0,860	41500	4,618	48300	" "
Baumöl	10	918	59100	772	64400	Canton.
Schwefelkohle	—	1,270	43600	639	34300	Oerſted.

§. 8. Anmerkungen zur Tabelle.

Die geringen Unterschiede zwischen Oersted und Colladon rühren her, theils von der Temperatur, theils davon, daß Oersted seine Resultate nur annähernd gegeben hat.

Aus dem mittleren Werthe, welche Colladon und Sturm anführen, erlangt man zwar etwas andere Zahlen, als ich angegeben habe; ich habe aber die meinigen aus den Beobachtungen unmittelbar reducirt.

Es ist sehr unwahrscheinlich, daß Seewasser einen so viel größeren gesättigte Kochsalzlösung einen so viel kleinern Modulus haben sollte, als Wasser. Bei Canton oder bei Abich ist daher ein Beobachtungsfehler. Canton hat zwar beim Wasser weit genauer beobachtet, aber seine Angabe für Seewasser ist gewiß zu groß. Ich habe daher keine von beiden Angaben vorziehen können.

Beim Weingeist rühren die Unterschiede im specifischen Gewichte bloß von der Temperatur her.

Das Baumöl ist in so vielen physikalischen Eigenschaften dem Terpentinöl ähnlich, daß man seine geringe Compressibilität bei Canton nicht für richtig halten kann.

§. 9. Aus den einzelnen Beobachtungen bei Colladon geht hervor, daß die Contraction in etwas kleinerem Verhältnisse fortschreitet als der Druck, daß also P um so größer wird, je stärker die Compression ist, aus der man es ableitet. Dasselbe scheint auch bei den festen Körpern der Fall zu sein. Auch bei den Gasen ist es so. Denn ist der Raum, den ein Gas bei irgend einem Druck, etwa dem der Atmosphäre, einnimmt, = R und die Verkürzung des linearen Durchmessers durch Vermehrung des Druckes um p Atmosphären = p R so ist (1+p) (1—d) = 1 also

$$\frac{d}{p} = 1 - d.$$

§. 10. Ordnet man die flüssigen Körper nach der Größe ihrer Spannkraft so findet sich folgende Reihe:

Quecksilber;
Schwefel- und Salpetersäure;
Ammoniak, Chlorcalcium, Salzsäure §. 13.;
Essigsäure, Seewasser? Milch?
Wasser, wärmeres, kälteres, Baumöl?

Kochsalzlösung, gesättigt?
Schwefelkohle, Salpeteräther, Terpentinöl;
Essigäther, Salzäther;
Alkohol, kälterer, wärmerer;
Schwefeläther, kälterer, wärmerer.

Den stärksten Widerstand gegen die Compression leistet das Metall. Jedoch ist die Zahl selbst noch sehr unzuverlässig. Zuletzt stehen die kohlenstoffreichen organischen Flüssigkeitn. Es ist sehr zu bedauern, daß wir von keiner Salzlösung die Compression mit Zuverlässigkeit kennen.

Nach der specifischen Elasticität rücken die Körper in engere Grenzen zusammen, das Quecksilber kommt in die Nähe der Oele und die Reihe wird:

Ammoniak;
Salpetersäure, (Salzsäure, Chlorcalcium §. 13.) Essigsäure;
Wasser;
Schwefelsäure, Quecksilber, Terpentinöl, Salpeteräther;
Essigäther, Salzäther, Alkohol;
Schwefelkohlenstoff und Schwefeläther.

§. 11. Die Temperatur hat, wie es scheint, einen doppelten Einfluß auf die Spannkraft, durch die Veränderung des specifischen Gewichtes und der specifischen Spannkraft. Nach Colladons Versuchen beim Aether und denen Cantons beim Weingeist, nimmt die specifische Spannkraft mit dem Steigen der Temperaturen in größerm Verhältnisse ab, als das specifische Gewicht; dagegen nimmt sie beim Wasser nach Canton zu. Das letzte bestätigt Oersted zwar; aber er meint, dieses rühre bloß von einer geringen Temperaturerhöhung bei der Compression her. Wasser über 4° C. werde durch Wärme ausgedehnt und die Compression daher scheinbar vermindert. Unter 4°, wo Wasser durch Erwärmen sich zusammenzieht, werde die Compression scheinbar vermehrt. In der That sei sie aber von der Temperatur unabhängig. Ein Vierzigstel Grad auf eine Atmosphäre reiche schon hin um diese Variation zu erklären. Wenn Oersteds Ansicht richtig ist, worüber wir, so lange das Detail der Versuche nicht vorliegt, nicht entscheiden können; so ist die Verminderung der Compressibilität beim Wasser ebenso vorübergehend, wie die Variation der Temperatur und ver-

schwindet wenn man die Flüssigkeit so lange stehen läßt, daß die Temperatur sich wieder ausgleichen kann.

Elasticität bei Schwingungen.

§. 12. Die Methode der Oscillationen, welche bei festen Körpern so genaue Resultate gewährt, ist bei flüssigen nur von Cagniard de la Tour angewendet. Von seiner Arbeit kenne ich bloß den kurzen Auszug in Berzelius Jahrbuch 1833. XII. p. 4. und Poggend. 1832. XXVI. p. 352. Er maß den Ton von Röhren, die mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt waren. Meine Berechnung, wobei Log. P in Wasser = 4,772 (Siehe §. 7.) gesetzt ist, giebt folgende Resultate:

Stoff	Spec. Gewicht	Schwingungen in 1 Se.	Log. P.	Log. P.	Spec. Gewicht.
Quecksilber.	13,590	640	5,584	5,833	13,750
Schwefelsäure.	1,717	1280	4,988	4,980	1,850
Salzsäure.	1,153	1472	888	—	—
Chlorcalcium.	1,090	1488	878	—	—
Wasser.	1,000	1478	772	772	1,000
Alkohol.	1,814	1400	500	497	0,790

Die Temperatur ist gar nicht und das specifische Gewicht nach dem bei den Franzosen immer noch so beliebten, unzuverlässigen Aräometer von Beaume angegeben. Ich habe es nach Meissner's Tabelle reducirt.

§. 13. Die beiden letzten Spalten enthalten die Compressibilität und das specifische Gewicht von vier Körpern, die zugleich in den Tabellen der §§. 7 und 12, vorkommen. In der Reihefolge stimmen beide vollkommen überein. Die Unterschiede in den absoluten Werthen sind nur bei dem Quecksilber bedeutend, bei dem Weingeist und der Schwefelsäure fallen sie weit innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler. Die Anzahl der Beobachtungen ist zu klein um für die Uebereinstimmung in den Resultaten beider Methoden zu entscheiden; aber sie ist sowohl nach Versuchen als nach der Theorie sehr wahrscheinlich. Unter dieser Voraussetzung wird für

Salzsäure $P = 77300$; $P : \varrho = 67000$
Chlorcalcium 75500; 69300

In der Spannkraft folgen sie also auf Ammoniak; in der specifischen Spannkraft stehen sie neben der Salpetersäure.

Dritter Theil.

Cohärenz der flüssigen Körper.

Geschichtliche Uebersicht.

§. 1. Die Geschichte der Physik ist unabhängig von den Bestrebungen und Schicksalen einzelner Menschen. Wenn der Zufall oder das Genie eine Entdeckung herbeiführten, so lag sie entweder so nah, daß sie wie eine Erzader in einem überall durchwühlten Boden nicht lange mehr verborgen bleiben konnte, oder sie wurde vergessen, bis alle falschen Richtungen betreten waren, jede Ansicht ihre Vertheidiger gefunden hatte. Die Geschichte bildet ein Ganzes, indem keiner ihrer Theile sich ganz selbstständig entwickelt hat. Die Beobachtungs- und die Berechnungsweisen sind überall dieselben, die Theorieen gehen jederzeit aus der herrschenden Naturphilosophie hervor, und diese wird wiederum durch jede bedeutende, in irgend einem Gebiete der Naturkunde neu gefundene Thatsache modificirt. Aber wie die Geschichte der Staaten, theilt sich die Geschichte der Physik in mehrere Specialgeschichten, eine jede mit einem eigenthümlichen, von dem Character der physikalischen Disciplin bestimmten Entwicklungsgange.

§. 2. Wo man, wie in der Elektricität, künstlicher Vorrichtungen bedarf, die man, ohne die Erscheinung selbst zu kennen, nicht absichtlich construiren würde, ist es stets der Zufall, der den Apparat und mit ihm die neue Entdeckung herbeiführt. Bei den vielen Versuchen, welche die Physiker, sogar zuweilen ohne bestimmden Plan, anstellen, kann es jedoch nicht fehlen, daß die zu den Beobachtungen geeigneten Combinationen sich früher oder später darbieten. Steht nun das neugefundene dem bereits bekannten nicht zu fern, und ist es ein Mann von Einsicht, der die Entdeckung macht, so ist der Wissenschaft ein neues Feld gewonnen. Dieses wird von dem Entdecker selbst oder seinen auch in der Wissenschaft nach dem Neuen immer begierigen Zeitgenossen nach allen Seiten hin durchforscht. In kurzer Zeit sind seine Umrisse bekannt, es

hat sein Interesse verloren, und einzelne Untersuchungen ausgenommen, ruht dieser Theil der Wissenschaft, bis eine neue Entdeckung ihr einen neuen Schwung verleiht.

§. 3. So war es mit dem von Gray entdeckten Verhältnisse von Leitern und Isolatoren, durch welches Dufay und Franklin bald zu dem Unterschiede zwischen beiden Elektricitäten und zu den Ladungsapparaten geführt werden mußten. Galvani besaß nicht Scharfsinn genug um seine Entdeckung zu entwickeln; aber Volta brachte binnen wenig Jahren den Galvanismus auf eine Stufe, die man in 20 Jahren nur wenig überschreiten konnte. Oersted und Faraday waren glücklich genug ihre zur gehörigen Zeit gemachten Entdeckungen selbst verfolgen zu können; während Arago's schöne Beobachtung über den Magnetismus durch Bewegung, weil sie zu früh kam, ein isolirtes Factum blieb.

So zerfällt die Geschichte der Elektricität in mehrere Perioden, deren Anfangspunkt stets ein Zufall ist, der sich auf den Tag oder die Woche genau bestimmen läßt. Collisionen in der Entdeckung sind daher nicht leicht möglich. Wenn auch ein Mojon oder Romanesi eine dem Elektromagnetismus ähnliche Erscheinung früher beobachtet haben sollten, so blieb es ohne Folge, und es gereicht ihnen nicht zur Ehre, den Schatz, den der Zufall ihnen bot, so schlecht benutzt zu haben.

Einen von der Elektricität sehr verschiedenen Gang mußte die Chemie nehmen. Die Apparate sind einfach, die Vorsichtsmaßregeln nicht sehr mannigfaltig. Niemals trat daher eine große Entdeckung plötzlich auf; eine jede war seit langer Zeit vorbereitet und das Resultat nicht des Zufalls, sondern von Scharfsinn und Fleiß. Daher die Collisionen, die sich bei jedem Fortschritte in der Chemie wiederholen und sie mehr zu den Producten der Zeit als denjenigen einzelnen Forscher machen.

Die übrigen Theile der Chemie stehen in ihrer Entwickelung bald der Elektricität, bald der Chemie näher. Zuweilen vermehrt das praktische Interesse die Anzahl der Beobachtungen und beschleunigt die Fortbildung einzelner Abschnitte, z. B. in der Wärmelehre und Hydrostatik. Allein überall ist die Geschichte das Product der Wissenschaft, aus ihr kann man die Geschichte in ihren Hauptzügen ableiten. Nur der große Geist von Newton hat diesen Entwickelungsgang etwas gestört. Denn obgleich der Zufall

ihm nie günstig war, zuweilen sogar feindlich entgegentrat, häuften sich auf ihn, wie auf die Heroen des alten Griechenlands und des Orients, alle Entdeckungen, die seinen Zeitgenossen hätten angehören sollen.

Eine Geschichte der Physik aus diesem oder einem andren wissenschaftlichen Standpunkte fehlt uns gänzlich, (denn eine Compilation ohne Geist und ohne Gelehrsamkeit wie die von Fischer kann man nicht Geschichte nennen) so nothwendig sie auch wäre, sowohl an sich selbst als durch den entscheidenden Einfluß der Physik auf die Naturphilosophie und die Philosophie überhaupt. Es ist meine Absicht nicht diese Lücke auch nur in Beziehung auf die Cohäsion auszufüllen. Ich beschränke mich hier auf einige Bemerkungen über die Entwickelung der Lehre von der Cohärenz der Flüssigen.

§. 4. Man ist zuerst in Florenz in der Mitte des siebenzehnten Jahrhunderts auf das Steigen der flüssigen Körper in engen Röhren aufmerksam geworden und die Physiker aus Galilei's Schule, welche darin eine Abweichung von dem Gesetze der communicirenden Röhren fanden, studirten diese und die verwandten Erscheinungen mit solchem Eifer daß die Adhäsionslehre in einem 1667 erschienenen Werke Montanari's schon die Vollendung erreicht hat, deren sie damals nach dem Stande der Physik überhaupt fähig war. Man wußte schon, daß in engen Röhren die Höhe des Flüssigen über dem Niveau dem Durchmesser der Röhre verkehrt proportional ist; daß das Quecksilber in Glasröhren unter dem Niveau, in Zinn und andren leicht amalgamirbaren Metallen über ihm steht; daß die Länge der Röhre ohne Einfluß ist und die Höhe der flüssigen Säule nur von der Weite der Röhre an der obern Grenze der Säule abhängt. Auch kannte Montanani schon die Bedingung, unter welchen die Oberfläche concav oder convex ist, die Anziehung und Abstoßung schwimmender Körper gegen einander und die Wand des Gefäßes u. a. m. Montanari's Werk, Pensiere fisiche e matematiche, Bologna 1667, ist nach Inhalt und Form eine der vorzüglichsten Arbeiten, die ich in der Physik kenne. Etwas ausführlich ist er, wie alle Italiener, aber eben so klar und beinahe eben so scharfsinnig wie Galilei und Volta. Das Buch hat aber das Schicksal vieler kleinern Arbeiten erfahren, gänzlich in Vergessenheit zu gerathen. Schon um das Ende des siebenzehenten Jahrhunderts finde ich es fast nirgends erwähnt und von den Neu-

ern, bei denen es ein paar mal citirt ist, hat es gewiß niemand gelesen.

§. 5. Bei der Erklärung dachte man zuerst an die Luft. Man hatte damals mit so vielem Glücke eine Menge von Erscheinungen erklärt, welche der ungleichförmige Druck der Luft in dem hydrostatischen Gleichgewichte hervorbringt, daß man es auch bei der Adhäsion versuchte. Der Widerstand, den die Luft erleidet, wenn sie in das Haarröhrchen eindringt, sollte ihren Druck vermindren, der Druck der Luft die Tropfen bilden und dergl. Selbst die Versuche, welche die Akademie del Cimento, Boyle und Andere in der Luftpumpe anstellten, und wo sie alles so fanden, wie in der freien Luft, reichten nicht hin, diese Erklärung gänzlich zu beseitigen, welche mit einigen Modificationen, indem man an die Stelle der Luft zuweilen den Dampf des Flüssigen oder einen Aether setzte, sogar noch nach der Mitte des letzten Jahrhunderts vorkommt. Indessen sah man sich durch das abweichende Verhalten von Queckssilber und Weingeist genöthigt, den flüssigen Körpern eine specifische, von der Erdschwere und der Luft unabhängige Eigenschaft, eine gewisse Klebrigkeit beizulegen, durch welche ihre Theile sowohl an einander, als an das Glas gebunden werden. Diese Klebrigkeit ist im Grunde nichts als unsre Cohäsion, die man auch jetzt noch irrig mit der Trägheit in den Bewegungen der gallertartigen, halbflüssigen Körper zusammenstellt. Die Ursache dieser Klebrigkeit sah man bald in dem Drucke eines Aethers, der sich, nach den damals geläufigen Vorstellungen von Descartes in Wirbeln um die Körper drehe; bald in der Gestalt und der Größe der Theilchen. Nachdem Borelli erwiesen hatte, daß die Klebrigkeit nicht wie die Festigkeit durch Häkchen erklärt werden könne, stellt er die Ansicht auf, daß die Oberfläche der Flüssigen mit einem Flaum bedeckt sei, der die Adhäsion hervorbringe, ohne die Beweglichkeit sehr zu stören. Wir lächeln über diese Erklärung; ist aber die Rolle, welche wir den Wärmestoff und die Elektricität spielen lassen, viel besser?

§. 6. Die vornehmsten Schriften aus diesem Zeitraume sind:

J. Vossius De Nili aliorumque fluminum origine. **1666.** II. p. 3. Die Flüssigkeiten werden durch ihre Klebrigkeit von dem Glase getragen. Queckssilber hat keine Klebrigkeit.

Tentamina der Akademiker del Cimento 1657—1667, von Musschenbrök herausgegeben, p. 70 und 91. Es giebt sehr

wenig Arbeiten in der Physik, die so scharfsinnig gedacht und so klar und, was bei den italienischen Physikern sehr selten ist, so bündig beschreiben sind, wie die Versuche dieser Florentiner. Sie haben zwar die Theorie nicht weiter ausgebildet, sich aber auch von den Modeansichten der damaligen Zeit ganz frei erhalten.

Rob. Boyle Experimenta de vi aëris elastica. **1669.** p. **200.** Philos. Transact. **1676—1677.** Huttonscher Auszug II. p. **362.** Mehrere recht interessante Beobachtungen. Ueber die Erklärung spricht er sich nicht aus und thut wohl daran. Denn die Sphäre, in der er gediegenes geleistet hat, ist das Experiment, das er mit Geschick, aber in der Regel etwas planlos anstellt.

R. Hooke Conatus ad explicanda phænomena observata a R. Boyle. **1662.** Die unmittelbare Ursache der Capillaritätserscheinungen ist die Luft, welche zurückgedrängt wird, wenn die Flüssigkeit eine starke Congruität zum Gefäße hat; aber sich eindrängt und eine convexe Oberfläche bildet, wenn die Congruität fehlt, z. B. beim Quecksilber. Dieses heißt, in unsre Sprache übersetzt, diejenige der beiden Flüssigkeiten, Luft und Wasser, welche die stärkere Adhäsion zum Glase hat, verdrängt die andere etwas und hat eine concave Oberfläche. Die Ansicht ist falsch, weil die Luft den Einfluß nicht hat, den ihr Hooke zuschreibt. Er ist ein Mann von merkwürdigem Charakter, dem ich keinen der Physiker neuerer Zeit an die Seite zu setzen weiß. Er experimentirte viel, aber ganz im Gegensatz mit Boyle, immer in Beziehung auf eine gewisse Theorie, die er zu bestätigen suchte; daher nicht immer ganz genau. Mit vielem Geiste, war er jedoch ganz in der Ansicht seiner Zeit befangen. Mit bessern Kenntnissen in der Mathematik und größerer Besonnenheit in seinen Urtheilen würde er kein ganz unwürdiger Nebenbuler Newtons gewesen sein.

Gemino Montanari (Siehe §. 4.). Er citirt Boyle, Grimaldi (Traité de Lumière, p. 213.), Fabri und Gustaferri Trattementi virtuosi.

Borelli. De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus. **1686.** Leyden p. 213. Die Vorrede ist von 1679. Die Versuche sollen schon 1655 angestellt sein. Er kennt einen großen Theil der von Montanari beschriebenen Erscheinungen und hat über das Schwimmen von Metallen und andren Körpern auf Wasser und über die Adhäsion von Platten, zwischen denen eine dünne Schicht Wasser ist, gute Beobachtungen. Aber in der Beschreibung und in

der Erklärung derſelben ſteht er an Klarheit und Beſonnenheit den Florentinern und Montanari weit nach.

Mariotte Traité du mouvement des eaux, 1690. Ausgabe der ſämmtlichen Werke von 1710. II. p. 332 und 368. Haarröhrchen mit Waſſer und Queckſilber, Bewegungen ſchwimmender Körper gegen einander und gegen die Wände des Gefäßes; ſehr gut beſchrieben.

Hartſöker Conjectures physiques. 1706. I. p. 225; II. p. 145. Seine Erklärung iſt derjenigen von Hooke ähnlich. Jedoch nimmt er, um die Benetzung zu erklären, nach der Weiſe der Franzoſen einen Aether an. Sein nur theoretiſches enthaltende Werk hat man mit Recht vergeſſen.

Carre Mém. de l'Acad. 1705. p. 241. Das Waſſer hängt an den innern Wänden der Röhren. Er erklärt dieſes durch einen Aether. Einige neue Beobachtungen.

Petit Mém. de l'Acad. 1722. p. 337; 1724. p. 91; 1731. p. 50. Der wichtige, jedoch der newtonſchen Schule ſchon früher bekannte Satz von einer zwiefachen Anziehung, ſowohl der flüſſigen Theile an einander, als an die feſten Körper; jene iſt beim Queckſilber ſehr ſtark. Seine übrigen Anſichten ſind unrichtig. Einige Beobachtungen ſind neu.

Du Fay Hist. de l'Acad. 1724. p. 2. Faſt bloße Wiederholung fremder Verſuche und Anſichten.

Mairan Hist. de l'Acad. 1724. p. 13. Die Capillarität iſt etwas magnetiſches, Die Urſache der Anziehung ſind Wirbel, deren Eigenſchaften er genauer beſtimmt.

De la Hire, Grimaldi, Fabri, Sturm und andere Verfaſſer von Handbüchern haben den Verſuchen und Anſichten ihrer Vorgänger nichts Neues hinzugefügt.

§. 7. Newton und ſeine Schule haben die Adhäſionslehre zwar nicht neu geſtaltet, aber die Längen- und Gewichtsmaße ſchärfer beſtimmt und die Theorie beſſer begründet. Hauksbee, vermuthlich von Newton angeregt, mißt die Höhe, in welche ſich Flüſſigkeiten zwiſchen Platten oder in Röhren erheben, und die Kraft mit der benetzten Platten zuſammenhängen. Brook Taylor lehrt die Erſcheinungen der Adhäſionsplatten kennen. Yurin zeigt, daß die Höhe der Flüſſigkeit in einer engen Röhre von der Weite derſelben an dem obern Ende der Säule beſtimmt wird. Newton ſelbſt giebt in einer der Fragen, die einen Anhang zu ſeiner Optik

bilden, eine Uebersicht der Adhäsionsgesetze, in welcher er die Adhäsion in Verbindung mit der Festigkeit der Körper betrachtet. Er gewöhnte die Physiker an den Begriff einer Anziehung und verwarf die vagen Hypothesen über einen rotirenden Aether, die Gestalt und die Oberfläche der kleinsten Theile, durch welche man bisher versucht hatte, die Attractionserscheinungen zu erklären. Ueber die Beschaffenheit der die Adhäsion bedingenden Attraction und ihr Verhältniß zur Gravitation drückt er sich sehr vorsichtig aus.

§. 8. Die wichtigsten Schriften dieses Zeitraumes sind:

Newton Opera edit. Horsley. IV. p. 252. Seine Schule in diesem wie in andren Gebieten der Physik zeichnet sich aus durch Genauigkeit im Experimentiren, durch das Bestreben, Resultate zu erlangen, die der Rechnung unterworfen werden können, durch Klarheit und Kürze in der Darstellung und große Vorsicht in der Erklärung. An Einsicht und Scharfsinn sind seine Schüler einander natürlich sehr ungleich.

Hauksbee Philos. Transact. 1706—1713 in mehrern Abhandlungen, Nr. 305. 319, 331, 337, zum Theil auch in seinen Phys. mechanical Experiments. 1709. Der theoretische Theil seiner Arbeiten ist mittelmäßig. Aber seine Versuche sind in der Anordnung und Ausführung meistens sehr gut. Man erkennt Newtons Hand, dessen Lieblings-Schüler er war.

Br. Taylor Philos. Transact. 1712. abridg Hutton. V. p. 706; 1721. VI. p. 530. Fast wie Wollaston in neuester Zeit, aber in einem noch höhern Grade, hat er sich in wenigen kleinen, aber vortrefflich geschriebenen Arbeiten als einen sehr scharfsinnigen Kopf erwiesen. Die wichtige Reihe der Differentialen, das Gesetz der Schwingungen elastischer Saiten und die Prüfung der Cohärenz durch Adhäsionsplatten führen seinen Namen.

Jurin Philos. Transact. 1718. abridg. VI. p. 330. Commentat. Petrop. III. p. 280. Er hat nur weniges geschrieben, aber dieses ist in dem besten Geiste von Newtons Schule. Seine Lehre war, wie er versichert, Newton früher als ihm selbst bekannt. Doch finde ich sie nicht in Newtons eignen Schriften. Gewiß ist, daß Montanari ihr schon sehr nahe war.

§. 9. In dem Jahrhunderte nach Newton machte die Lehre nur wenige Fortschritte. Bülffinger, Hamberger, Musschenbrök, Weitbrecht u. A. geben klare, aber wenig Eigenthüm-

liches enthaltende Zuſammenſtellungen der Beobachtungen und Anſichten ihrer Vorgänger. Muſſchenbrök, der einzige von ihnen, der neue Verſuche angeſtellt hat, beging große Fehler. Der theoretiſche Theil ihrer Arbeiten beſchränkt ſich auf eine Verbindung der newtonſchen Attractionslehre mit der Cohärenz der Flüſſigen. Ihre Anſicht iſt ungefähr folgende:

Wenn M und N die Anziehungen des Flüſſigen auf den feſten Körper und der feſten Theile gegen einander ſind, ſo iſt der Stand in Haarröhrchen über dem Niveau, wenn M größer wie N, und unter dem Niveau, wenn M kleiner wie N. Da nun die meiſten Flüſſigkeiten in Glas- und Metallgefäßen über dem Niveau ſtanden, das ſchwere Queckſilber aber unter dem Niveau, ſo ſchienen dieſe Anziehungen von dem ſpecifiſchen Gewichte, alſo auch von der allgemeinen Gravitation abhängig zu ſein. Daß nach Gellert geſchmolzenes Metall in Glas unter dem Niveau, und Queckſilber in Röhren von Gold über dem Niveau ſtehen, ſtimmt ebenfalls recht gut damit überein. Zwar ſteht Queckſilber auch in dem ſpecifiſch leichtern Silber höher, aber Clairaut fand, daß nicht M-N, ſondern 2M-N das Maß der Anziehung ſei, alſo ein Anſteigen immer ſtatt finden müſſe, wenn in dem Flüſſigen das ſpecifiſche Gewicht nur nicht doppelt ſo groß iſt, wie im Feſten. Dieſen Satz ſtellt der bekannte Aſtronom Lalande populär dar. Aber daß Alkohol und Aether trotz ihrer Leichtigkeit in Glasgefäßen niedriger ſtehen, als Waſſer, drohte der ganzen Theorie den Untergang, und Lalande war genöthigt anzunehmen, daß die verbrennlichen Körper einen Dampf ausſtoßen, der ſie von dem Glaſe entfernt hält und ihr Anſteigen vermindert, alſo eine von der Schwere ganz verſchiedene Kraft. Viele Verſuche mit Haarröhrchen und Tropfen haben Muſſchenbrök, mit Adhäſionsplatten Morveau, Beſile und Achard angeſtellt. Aber am bedeutendſten iſt die Beobachtung von Dutour, daß das Gewicht, welches eine benetzbare Adhäſionsplatte von der Oberfläche einer Flüſſigkeit abzieht, von dem Stoffe der Platte ganz unabhängig iſt. Mehrere wichtige Sätze gehen daraus hervor: daß man mit den Adhäſionsplatten und Haarröhrchen nicht die gegenſeitige Anziehung des feſten und flüſſigen Körpers meſſe, ſondern die der flüſſigen Theile auf einander allein; ferner, daß die Wirkungsſphäre dieſer Anziehung ſich nicht in bemerkbare Entfernungen erſtrecke. Jedoch war man ſich dieſer Reſultate nicht ganz bewußt.

§. 10. Literatur.

Bülffinger Comment. Petrop. 1727. II. p. 233—287; II. p. 292.

Hamberger Elementa physices. 1735.

Muſſchenbrök Dissertationes physicæ. 1729. p. 173-254. De Tubis capillaribus und Introductio ad Philosophiam naturalem. 1762. p. 354. Ein umſichtiger und redlicher Beobachter und fleißiger Sammler. In der Theorie iſt er jedoch ſelten glücklich.

Weitbrecht Comment. Petrop. 1736. VIII. p. 261—309. Eine weitſchweifige, die logiſche Conſequenz zur Schau tragende Manier wurde damals, wie jetzt, oft mit Gründlichkeit verwechſelt.

Gellert Comment. Petrop. auf das Jahr 1740 (gedruckt 1750) XII. p. 243. Geſchmolzenes Blei in Haarröhren und p. 252 mehrere Flüſſigkeiten in prismatiſchen Haarröhren.

Clairant Figure de la Terre. 1743.

P. Gerdil Sur l'incompatibilité de l'attraction avec les phénomènes et sur les tuyaux capillaires. 1754. Seine Polemik gegen die Attraction in der Aſtronomie und in der Cohärenz und die Art, mit der er die Anwendung der Mathematik in der Phyſik auffaßt, erinnern durch ihre Form wie durch ihren Scharfſinn an Göthe's Farbenlehre.

Segner Comm. Gotting. 1751. I. p. 301—372. Verſuche und Rechnungen, beſonders über Tropfen.

B. Stattler Solutio problematis academici, a quibus viribus exceptio illa a legibus Hydrostatices oriatur, quam fieri observamus in aqua quiescente u. ſ. w. Baierſche Akad. Abhandlungen. 1775. IX. 333—398. Nichts als die damals herrſchende Anſicht mit unſäglicher Breite auseinandergeſetzt.

Dutour Journ. de Phys. 1780. I. p. 234. Seine Verſuche ſind neu und intereſſant, die Beſchreibung iſt ſehr gut. Er iſt der einzige originelle Forſcher, den das Jahrhundert in dieſem Gebiete aufzuweiſen hat.

Guyton de Morveau Journ. de Physique. 1773. I. p. 168. Theoretiſche und praktiſche Principien der Affinität, überſetzt, 1794, und andre Werke. Er hat durch ſeine zahlreichen Schriften einen ſehr ausgedehnten Ruf erlangt. Einige ſeiner Verſuche ſind gut. Aber in der Theorie iſt er Muſſchenbrök nicht überlegen und als Beobachter ſteht er ihm weit nach.

Außerdem haben alle Verfaſſer von Lehrbüchern über die Ad-

häsion, aber nur in gewöhnlicher Weise gesprochen. Einige Abhandlungen, die von Andren citirt werden, habe ich mir nicht verschaffen können. Nach den Auszügen, die ich kenne, sind sie unbedeutend. Ich habe sie nicht genannt. Arbeiten über einzelne Theile der Adhäsion werde ich späterhin anführen.

§. 11. Im Anfange des neunzehnten Jahrhunderts fing man endlich an, die mathematische Analyse, die in andren Theilen der Physik so ausgezeichnetes geleistet hatte, auch auf die Adhäsion anzuwenden. Zuerst that es Th. Young. Er fand, daß der Winkel, den der flüssige Körper mit den festen macht, ganz unabhängig ist von der Gestalt und dem Volumen der Körper, und leitete daraus eine große Menge von Erscheinungen ab: den Stand des Flüssigen über oder unter dem Niveau in engen Räumen von verschiedener Gestalt; die Form und die Größe der Tropfen, die sich an einen festen Körper lehnen, oder eine flüssige Säule von geringem Durchmesser begrenzen; die Gestalt von Luftblasen; die Anziehung von Körpern, welche durch ihre Leichtigkeit oder die Schwäche ihrer Adhäsion auf der Oberfläche eines Flüssigen schwimmen, gegen einander oder die Wand des Gefäßes; die Kraft, mit der eine Platte an einem flüssigen Körper haftet u. a. m. Er war also der erste, welcher die einzelnen Ahhäsionserscheinungen durch Rechnung mit einander verband. Indessen sind seine Voraussetzungen über die Gestalt der Oberfläche der Flüssigen nicht ganz richtig, und die Rechnungen nur im Umrisse angegeben.

Ausgezeichneter vom mathematischen Standpunkte aus ist die beinahe gleichzeitige Untersuchung von Laplace. Er nimmt ebenfalls an, jedoch ohne Beweis, daß der Berührungswinkel zwischen dem festen und flüssigen Körper mit wenigen Ausnahmen constant ist, und berechnet daraus die einzelnen Cohärenzerscheinungen noch weit vollständiger als Young. Seine Arbeit hat den größten Einfluß auf die Lehre gehabt; sie wurde fast allgemein angenommen, öfter commentirt und veranlaßte außer mehreren mathematischen Untersuchungen, welche die Theorie jedoch wenig förderten, auch einige genaue Beobachtungen.

Erst im Jahre 1830 stellte Gauß die Adhäsionslehre auf eine festere Basis als Young und Laplace. Er bewies, was diese Männer bloß angenommen hatten, daß der Berührungswinkel des flüssigen und festen Körpers constant ist und gelangte durch eine

höchst elegante Analyse zu den vornehmsten Gesetzen des Gleichgewichtes eines flüssigen Körpers, der sich an einen festen lehnt.

Ein größeres Detail findet sich in dem spätern Werke von Poisson. Er unterscheidet sich von Gauß durch eine strengere Entwicklung der atomistischen Principien, durch welche er für die Dichtigkeit und die Gestalt der Oberfläche auf eigenthümliche Gleichungen gelangt, die jedoch, so weit sie die bisher bekannten Beobachtungen betreffen, keine von den frühern abweichende Resultate herbeiführen.

Genaue Experimente hat auch dieser Zeitraum nur wenige aufzuweisen. Sie sind von Gay lussac. Ich werde bei der Betrachtung der einzelnen Erscheinungen auf diese und ähnliche Untersuchungen zurückkommen.

§. 12. Die vornehmsten Schriften sind:

Young, An Essay on the Cohesion of Fluids. Philos. Transact. 1805. p. 65. Der später erschienene Artikel: Cohesion of Fluids, in der britischen Encyclopädie, der eine Kritik der laplaceschen Arbeit enthält, war mir nicht zugänglich. Youngs zahlreiche und mannigfaltige Arbeiten zeichnen sich alle durch Originalität, Scharfsinn und Gelehrsamkeit aus. Er stand keinem, selbst den größten unter seinen Zeitgenossen nach in der Fähigkeit, aus dem Einzelnen ein großes Ganze abzuleiten. So wurde er der Begründer der jetzt herrschenden Lehren von der Cohäsion der festen und flüssigen Körper, der Undulationstheorie in der Optik, der ägyptischen Hieroglyphik. Seine Sprache ist vollkommen bestimmt und läßt keinen Doppelsinn zu. Aber seine Kürze und seine Abneigung gegen mathematische Formeln, die er durch Worte ersetzt, machen ihn oft schwer verständlich und haben den größten Theil des Ruhmes, der ihm gebührt, auf seine Nachfolger Laplace und Fresnel übertragen.

Laplace Mécanique céleste I. Livre IV. Theorie de l'act. capill. Suppl. 1806 und 1807. Nach den Urtheilen von Poisson und Gauß läßt diese Arbeit auch von mathematischem Standpunkte noch manches zu wünschen übrig. Sie ist commentirt und populärisirt von Brandes Gilb. Annal. XXXIII. p. 1—115, Biot in seinem Traité de Physique. I. p. 437; Pessuti Atti della Societa italiana. XIV.; Gries Gehlen Journ. IX. p. 104 und Andren. Die Einwendungen von de la Brossy Biblioth. britan. XXXVII. p. 1; Belli Brugnat. Giorn. VII. p. 191; Brunacci

Bibl. br.tann IX. p. 7 u. a. O., Robili Sopra la identita dell' attrazione molecolare colla astronomica. Modena 1818, Parrot über die Capillarität. 1816, und Sang Bemerkung über Young's Theorie der Capillarität, Jameson Journ. of Science. 1829 ſind, ſo weit ich ſie kenne, ganz unbedeutend.

Rudberg Denkſchriften der Societät von Stockholm. 1819-22.

Gauß Princ,pia generalia Theoriæ figuræ fluidorum in statu æquilibrii. 1830. 53 pp. Die verſprochene Anwendung dieſer allgemeinen Grundſätze auf die einzelnen Aufgaben iſt bis jetzt noch nicht erſchienen.

Poiſſon Nouvelle Theorie de l'action capillaire. 1831. 300 pp. Er bezieht ſich auf das Werk von Gauß. Aus den allgemeinen Gleichungen iſt eine Menge von ſpeciellen Fragen abgeleitet und die Rechnungen mit bisher nicht bekannt gemachten Beobachtungen von Gayluſſac verglichen.

Link Poggend. Annal. 1832. XXV. p. 270, giebt eine Ueberſicht der poiſſonſchen Theorie und der Haupteinwendungen, z. B. denen Parrots, gegen die Grundſätze von Young, Laplace, Gauß und Poiſſon.

§. 13. Die Lehre von der Cohärenz der Flüſſigen entwickelt ſich alſo anfangs ſehr raſch, und erreicht durch Montanari in Italien und dieſſeits der Alpen durch Newtons Schule eine Ausbildung, der das folgende Jahrhundert nur weniges hinzufügen kann. Doch nimmt die Anzahl der Beobachtungen langſam zu, und die Theorie läutert ſich, bis die Mathematik die getrennten Theile der Lehre in ein Ganzes zuſammenfaßt.

Uns bleiben noch zwei Aufgaben zu löſen übrig. Wir müſſen erſtlich durch genaue Verſuche dem Calcul die Mittel an die Hand geben, um die Cohäſion der verſchiedenen flüſſigen Körper gegen einander und gegen feſte Körper zu berechnen. Zweitens müſſen wir die Erſcheinungen unterſuchen, welche der Rechnung noch nicht unterworfen werden konnten, um ihre Geſetze kennen zu lernen und die mathematiſche Entwickelung vorzubereiten. Man wird aus dem Folgenden erſehen, daß ſelbſt in dem kleinen Theile der Adhäſionslehre, den wir überblicken können, das bereits geleiſtete verſchwindend iſt gegen das, was zu thun noch übrig bleibt.

§. 14. Eintheilung der Lehre von der Cohärenz der Flüſſigen. Durch die Cohärenz werden die Geſetze des

Gleichgewichts sowohl, als der Bewegungen bei den flüssigen Körpern verändert. Bei dem Gleichgewichte tritt sie mit zwei Arten von Kräften in Conflict: mit der Schwere der flüssigen Körper und mit mechanischen Kräften. In jenem Falle bewirken die Cohäsionen eine Modification des hydrostatischen, von der Schwere bestimmten Gleichgewichts; in dem zweiten Falle wirkt sie wie eine anziehende oder abstoßende Kraft, welche die Annäherung oder die Entfernung zweier Körper verhindert.

Bei der Bewegung der Flüssigkeiten wird sie gewöhnlich zu einem Hinderniß, d. h. ohne selbst Bewegung zu erzeugen, hemmt sie die Bewegung, und zwar auf eine sehr kräftige Weise.

Die Anziehung heterogener Körper hat zwar keinen unmittelbaren Einfluß auf die Aggregatzustände, wie die Wärme ihn hat; aber sie führt zuweilen Umstände herbei, die einen Körper flüssig erhalten oder machen, der ohne sie nur in Gas- oder starrer Form bestehen konnte. Wir haben daher für die Cohärenz der Flüssigen drei Abschnitte, die ich in folgender Ordnung behandlen werde:

1. Cohärenz im Gleichgewichte,
2. Cohärenz im Conflict her Aggregatzustände,
3. Cohärenz bei Bewegungen.

Erster Abschnitt.

Cohärenz im Gleichgewichte der Flüssigen.

§. 15. Die wichtigste Thatsache für die Cohärenz ist, daß bei der Anziehung zwischen zwei Körpern die Dicke der begrenzenden, festen oder flüssigen Körper ganz ohne Einfluß ist. Die Kraft erstreckt sich also nicht in merkliche Entfernug. Dynamisch würde man annehmen können, daß die Cohärenz nur bei Berührung statt finde, eine Oberflächen-Kraft sei. Aber alle Berechnungen gehen von atomistischen Grundsätzen aus. Nach ihnen wirkt die Cohärenz zwar in die Entfernung, aber in einer rasch abnehmenden Progression, so daß sie bei einer merklichen Entfernung $= 0$ gesetzt werden kann (Siehe Einleitung §. 6.). Man müßte daher, um die Cohärenzerscheinungen vollständig zu erkennen, mit der Function bekannt sein, welche zwischen der Entfernung und der Größe der Kraft statt findet. Diese kennt man zwar nicht. Glücklicher Weise beschränkt sich aber ihr Einfluß auf die Wirkungssphäre der Kraft. Alle Erscheinungen, welche man beobachten kann, fallen außer-

halb dieser Grenze, und lassen sich daher auch ohne Kenntniß der Function bestimmen. Den Gang der Rechnung mitzutheilen, liegt nicht in dem Plane meines Werkes. Ich werde nur einige für die Erscheinungen wichtige Resultate anführen.

§. 16. Eine flüssige Masse berührt die angrenzenden Körper immer in einer Fläche. Denkt man sich nun zwei Linien, die sich in einem Punkte des Umfangs der gemeinschaftlichen Oberfläche treffen, perpendiculär auf die Tangente desselben stehen und die beiden freien Oberflächen berühren, so ist der Winkel, den sie mit einander machen, unter allen Umständen, wo zwei Körper von derselben Beschaffenheit sich treffen, constant.

Dieser Winkel sei w.

aa und bb zwei Größen, von denen die erste bloß von der Anziehung der flüssigen Körper gegen einander, die zweite von der Anziehung der flüssigen gegen die festen abhängt, so ist

$$\text{Sin. } \tfrac{1}{2}w = b : a.$$

Man nimmt gewöhnlich an, daß b eben so von der Cohärenz der heterogenen Theile abhänge, wie a von der Cohärenz der homogenen. Jedoch ist dieses nicht nothwendig.

§. 17. Alle Aufgaben, welche bei dem Gleichgewichte eines flüssigen Körpers vorkommen, können, sobald w bekannt ist, dem Calcul unterworfen werden. Indessen verstatten die mathematischen Schwierigkeiten in der Regel nur eine annähernde Auflösung. Die vornehmsten unter den berechneten Fällen sind folgende:

1. Die Gestalt der freien Oberfläche des Flüssigen in Röhren, an Scheiben, als hängende und liegende Tropfen, sie mögen von Luft oder einer andren Flüssigkeit umgeben sein. Die Art, wie sich das Flüssige an einen schwimmenden festen Körper lagert.

2. Der Unterschied zwischen dem allgemeinen Niveau des Flüssigen, welches bloß den Gesetzen der Schwere folgt, und seinem Niveau, wenn es in engen Räumen eingeschlossen ist. Diese Differenz ist abhängig von der Gestalt der Linie an der Grenze der gemeinschaftlichen Oberfläche des flüssigen Körpers und des Gefäßes, und bei prismatischen Röhren dieser Linie beinahe direct und der Basisfläche umgekehrt proportional, also in Röhren, deren Basis einander ähnlich sind, z. B. bei quadratischen, bei kreisförmigen, den Dimensionen derselben fast umgekehrt proportional. Zwischen zwei einander sehr nahe und parallel gestell-

ten Platten steht das Flüssige eben so weit unter oder über dem Niveau, als in einer Haarröhre, deren Radius dem Abstande beider Platten gleich ist. Von allen Röhren mit gleichem Querschnitte steigt die Flüssigkeit bei den kreisförmigen am wenigsten hoch. Ein Fehler in der Cylinderform einer Röhre giebt daher ein zu großes Resultat für den Unterschied des Niveaus. Indessen ist die Gestalt der Oberfläche eines Flüssigen in elliptisch gestalteten Röhren noch nicht berechnet.

3. Die Kraft, mit der eine ebene Scheibe an der Oberfläche einer tiefen und weit ausgedehnten flüssigen Masse haftet. Bei großen Scheiben ist diese Kraft bis auf eine kleine Correction der Oberfläche der Scheibe proportional. Bei sehr kleinen Scheiben wird aber die Correction überwiegend. Poisson hat zwar auch in diesem Falle die Kraft untersucht, jedoch ist die Rechnung sehr schwierig und läßt noch manches zu wünschen übrig. Noch nicht berechnet ist die Kraft, mit welcher Scheiben von sphärischer Krümmung an einer Flüssigkeit haften, oder wo die Dimensionen der Flüssigkeit auf das zum Losreißen nöthige Gewicht einen merklichen Einfluß erlangen.

4. Die Kraft, welche nöthig ist, um den Abstand zweier Scheiben, zwischen denen sich eine Schicht eines Flüssigen befindet, zu vermehren oder zu vermindern. Diese Kraft ist, wenn die Scheiben und die Flüssigkeit eine große und einander gleiche Ausdehnung haben, der Oberfläche direct, und dem Abstande der Scheiben umgekehrt proportional. Der sehr oft vorkommende Fall, wo die Scheiben sehr klein sind, ist bis jetzt noch nicht berechnet.

5. Die Kraft, mit welcher schwimmende Körper einander oder dem Rande des Gefäßes näher oder ferner zu kommen streben.

Unter den noch nicht genügend berechneten Resultaten der Cohärenz ist eines der interessantesten die Größe und die Gestalt eines Tropfens, der von einem festen Körper von gewissen Dimensionen herabfällt. Sie hängt, wie ich später zeigen werde, von der Geschwindigkeit des Abflusses ab, den man in der Rechnung noch nicht berücksichtiget hat.

Man kann hier überall an die Stelle des festen Körpers einen flüssigen setzen, der an seiner Oberfläche, sobald alles in Ruhe ist, ganz die Eigenschaften eines festen hat.

Die Anwesenheit und die Dichtigkeit der Atmosphäre ist ohne Einfluß.

§. 18. Alle diese Erscheinungen hängen nur von dem Winkel w und dem specifischen Gewichte ab.

Wenn b nicht größer ist, als a, so giebt's für w immer mögliche Werthe. Ist $2bb = aa$, so ist $w = 90^0$. Die Flüssigkeit trifft die Oberfläche des Gefäßes unter rechten Winkeln. Die Oberfläche ist horizontal, und in Haarröhren das Niveau wie in weiten Gefäßen.

Wenn 2bb kleiner wie aa, so ist w kleiner als 90^0. Die Flüssigkeit zieht sich vom Gefäße zurück; ihre freie Oberfläche in der Nähe des Randes sind convex nach außen; in Haarröhren steht sie unter dem Niveau.

Ist 2bb größer wie aa, w also größer als 90^0, so zieht sich die Flüssigkeit an das Gefäß hinan, ihre Oberfläche wird concav und stellt sich in Haarröhren über das Niveau.

Wenn $2bb = aa$ und $w = 180^0$ ist, so berühren sich die freien Oberflächen beider Körper. Ein Tropfen, der auf eine Schaale kommt, wird sich so lange ausdehnen, bis er sie ganz überzogen hat. Auf einer gleichartigen Flüssigkeit kann kein Tropfen sich selbstständig erhalten. Er verbreitet sich auf ihr, und verhält sich in dieser Beziehung ganz wie ein heterogener Körper, wo $w = 180^0$.

Ist b größer als a, so ist w unmöglich. Aber in diesem Falle besteht die erste Wirkung der Anziehungskraft in einer Ausbreitung des Flüssigen auf dem festen Körper. Dieser wird dadurch von dem flüssigen überzogen, benetzt und die neu hinzukommenden flüssigen Theile kommen nicht mehr mit dem festen Körper, sondern nur mit der ihnen gleichartigen flüssigen Schicht, die ihn bedeckt, in Wechselwirkung. Die Resultate sind daher ganz so, als wenn $w = 180^0$ wäre.

§. 19. Alle Cohärenzphänomene zerfallen daher in zwei Klassen, je nachdem man die Cohärenz eines flüssigen Körpers zu einem festen beobachtet, oder nur die Cohärenz des Flüssigen zu der gleichartigen Schicht, welche den festen Körper bedeckt hat. Wir wollen, um die Worte Cohärenz und Adhäsion nicht zu sehr zu häufen, für die erste Klasse den Ausdruck Prosaphie, für die zweite Klasse, welche sich auf die Anziehung zwischen den Theilen einer homogenen Flüssigkeit bezieht, Synaphie gebrauchen. Diese beobachtet man

nicht nur, wenn b dem a an Größe gleich oder überlegen ist, sondern auch, wenn b kleiner ist wie a, aber der feste Körper durch künstliche Mittel mit einer Schicht des Flüssigen bedeckt ist. Jede dieser Klassen will ich in zwei Abtheilungen bringen, so daß dieser Abschnitt über die Cohärenz im Gleichgewichte in vier Theile zerfällt.

I. Bestimmung der Größe der Synaphie.

II. Veränderung in der Lage eines Flüssigen, das einen festen Körper benetzt.

III. Prosaphie eines flüssigen und eines nicht benetzten festen Körpers.

IV. Verbreitung einer Flüssigkeit auf der Oberfläche eines andren Körpers *).

I. Bestimmung der Größe der Synaphie.

Beobachtungsweise.

§. 20. Die besten Mittel zur Bestimmung der Synaphie sind die: Haarröhren und die Adhäsionsplatten. Statt der Haarröhren kann man sich auch zwei paralleler Platten bedienen. Gauß hat vorgeschlagen, die Größe von Luftblasen, die sich zwischen dem flüssigen und einem benetzbaren Körper befinden, zu messen (Theor. Figur. Fluid. p. 52.). Diese Methode ist derjenigen ähnlich, mit der man beim Queckſilber die Stärke der Prosaphie bestimmt hat, nämlich der Messung der Höhe von großen Tropfen. Sie ist bis jetzt noch nicht angewendet morden.

Die Versuche, sowohl mit Adhäsionsplatten als mit Haarröhren, scheinen so leicht zu sein, und besonders die letzten bei engen Röhren einen so genauen Maßstab für die Cohärenz zu geben, daß man sich wundern muß, sie so wenig zahlreich zu finden. Selbst

*) Synaphie und Prosaphie entsprechen in ihrer Etymologie ganz den Worten Cohäsion und Adhäsion. Es sind die einzigen neuen Kunstausdrücke, die ich mir in diesem Werke erlaubt habe. Ich that es ungern; aber sie waren nicht zu entbehren. Denn Cohäsion mußte in dem weiten Sinne von Einleitung §. 19. gebraucht werden. Unter Adhäsion verstand man nicht nur die Cohäsionskräfte zwischen heterogenen Körpern, sondern auch nach einer alten, aber falschen Theorie die Anziehung zwischen gleichartigen Theilen der Flüssigkeit. Synaphie und Prosaphie kann man für flüssige und für feste Körper anwenden und wie die Worte Dynamik und Statik, mit Hydro und Sterno verbinden.

Gay-Luſſac, der ſehr gute Apparate beſaß, hat nur wenige Verſuche damit angeſtellt. Aber wer ſelbſt Beobachtungen machen und nicht bloß entfernte Annäherungen, ſondern eine etwa auf 0,01 gehende Genauigkeit erlangen will, findet bald, daß dieſe Verſuche, trotz der Einfachheit der Inſtrumente zu den ſchwierigſten, und wegen den zahlreichen Störungen, über die man nicht immer gebieten kann, zu den unangenehmſten in der ganzen Phyſik gehören. Um meinen Mitarbeitern in dieſem Felde einen Theil des Verdruſſes zu erſparen, den mir die vielen und faſt launiſchen Hinderniſſe gemacht haben, will ich die Verſuche ausführlicher beſchreiben, als es ſonſt in dieſem Werke geſchieht.

§. 21. Die wichtigſte Vorſichtsmaßregel bei allen Methoden iſt die Benetzung des feſten Körpers mit dem zu unterſuchenden flüſſigen. Sie hat keine große Schwierigkeit, wenn jener ſehr rein iſt und die Flüſſigkeit ſich leicht verbreitet. Aber dieſes iſt ſelten der Fall. Wenige Flüſſigkeiten benetzen den Rand einer Adhäſionsplatte von ſelbſt, und in das Innere einer engen Röhre ſteigen ſie beinahe niemals von ſelbſt zu der Höhe, welche ihrer Synaphie zukommt. Sogar das Queckſilber, das ſich mit Gold und Zinn ſo leicht verbindet, ſteigt in Gold- und Zinn-Röhren nicht über das Niveau. Man muß immer erſt das Flüſſige über den feſten Körper hinführen, dieſen vollſtändig benetzen und dann unmittelbar den Verſuch anſtellen, ehe ſich die Flüſſigkeit an dem für den Verſuch wichtigſten Orte, dem äußern Umfange der gemeinſchaftlichen Oberfläche, verändert haben kann.

Dieſe Veränderung tritt oft ſehr ſchnell ein, theils durch Verdampfung, theils durch Einſaugung von Flüſſigkeit, Sauerſtoff oder Kohlenſäure, wodurch die Schicht zuweilen andre Eigenſchaften erlangt; theils aber auch durch die von der Prosaphie ſelbſt eingeleitete Zerſetzung. Bei mechaniſchen Verbindungen iſt dieſes immer der Fall, indem ſich der minder adhärirende Beſtandtheil ausſchließlich an den feſten legt, und wie man an den durch ihre Lichtbrechung kenntlichen Strömungen ſieht, dauert es ſehr lange, ehe ein Gemiſch von Waſſer und Weingeiſt oder Salzlöſung zu einer gleichförmigen phyſiſchen Verbindung geworden iſt (Siehe Einleitung §. 15.), und ſelbſt dieſe ſcheint, wie ich ſpäter zeigen werde, durch die Berührung mit einem feſten Körper, zu dem die Beſtandtheile eine verſchiedene Prosaphie haben, zerlegt werden zu können. Die Adhä-

sionsplatten und Haarröhrchen stehen alsdann mit einer Schicht in Berührung, welche verschieden ist von der unzersetzten Flüssigkeit und geben eine zu große oder eine zu kleine Synaphie.

§. 22. Da man nicht zu jedem Versuche neue Platten und Röhren nehmen kann, so ist es nöthig, sie vorher zu reinigen. Ein Körper, welcher das Glas einmal benetzt hat, haftet mit großer Kraft, und bloßes Abwischen reicht bei weitem nicht hin, um ihn zu entfernen. Wie von dem Aether, ungeachtet seiner Flüchtigkeit, eine dünne Haut auf dem Queckſilber zurückbleibt (Siehe unten den Abschnitt von der Benetzung), wie eine Oelschicht auf Glas und Metall, so ist's mit allen andren Flüssigkeiten. Oft ist von einem fremden Körper keine Spur zu erkennen, und dennoch wird das Resultat verändert. Man erinnert sich dabei an die bekannten Modificationen des Platins und andrer elektro-negativer Metalle, die eine Zeitlang dem galvanischen Strome ausgesetzt waren, und die damit verwandte Unfähigkeit von vielem sonst wohl gereinigten Platin die Verbindung von Gasen zu vermitteln.

Man muß daher vor jedem Versuche die Platten oder Röhren sehr sorgfältig, selbst mit chemischen Mitteln reinigen und dann wiederholt mit der zu untersuchenden Flüssigkeit abwaschen. Ich habe mich, je nach der Beschaffenheit des benetzenden Körpers, auch mit Erfolg bald des Alkohols, bald der Säuren oder der Alkalien bedient, welche theils durch ihre stärkere Prosaphie, theils chemisch wirkten. Zuweilen war es mir aber unmöglich, selbst mit Hülfe der Wärme die Röhren so vollständig zu reinigen, daß sie das Wasser z. B. zu dem Normalzustande erheben konnten.

§. 23. Meine Adhäsionsplatten hängen durch drei Fäden an drei kleinen horizontal liegenden Stellschrauben, die an einem Messingplättchen befestigt sind. Dieses hängt von dem Arme einer guten Wage herab. Durch die Schräubchen kann man die Fäden so weit verlängern oder verkürzen, daß die untere Fläche der Platte genau horizontal steht. Die an die Oberfläche der Flüssigkeit reichende Platte wirkt dabei selbst als Libelle. Die Platten sind rund, von Glas, unten eben geschliffen, mit perpendiculären ebenfalls geschliffenen Rändern; doch halte ich es für besser, sie sphärisch, nach einen großen Radius, etwa wie die Dosenlibellen zu schleifen, nach unten convex und die Fehler, die daraus hervorgehen, durch Rechnung zu corrigiren. Mehrere bald auf einander folgende, mit gehöriger

Vorsicht in der Auflegung der Gewichte angestellte Wägung haben mir zuweilen nur Abweichungen von einigen Tausendtheilen gegeben.

Die Platte darf dem Boden oder den Wänden des Gefäßes nicht so nahe kommen, daß die Adhäsion der Flüssigkeit an das Gefäß von Einfluß wird. In Gefäßen, deren Durchmesser nicht viel größer ist, als die der Platte, ist die zum Abreißen nöthige Kraft bedeutend stärker. Daher rühren die Anomalieen in den Beobachtungen von Dutour (Journ. de Phys. 1780. I. p. 246.) Besile (Journ. de Phys. 1786. XXVIII. p. 171.) und Andren. Das kleinste noch zulässige Intervall zwischen Platte und Wand hängt natürlich von der Genauigkeit der Beobachtung, den Dimensionen der Platte und der Beschaffenheit des Flüssigen ab.

§. 24. Die Dichtigkeit der Luft ist ohne Bedeutung für die Beobachtung, wenn sie auf alle Theile des Apparates mit gleicher Stärke drückt. Dieses haben viele unter der Luftpumpe angestellte Versuche der älteren Physiker und die Rechnungen der Mathematiker hinlänglich dargethan.

Wenn sich aber eine Luftblase unter der Adhäsionsplatte befindet, so sollte man eine Verminderung des Gewichtes erwarten, weil der von der Flüssigkeit einzunehmende Raum leer bleibt. Aber ich habe bei allen benetzenden Flüssigkeiten das Gegentheil gefunden, und Blasen, deren Querschnitt nicht den hundertsten Theil von dem der Platte betrug, vermehrten die Kraft um mehrere Hunderttheile. Wenn die Blasen klein, aber zahlreich waren, so schien mir die Zunahme der Kraft noch beträchtlich größer zu sein, als bei einer einzigen, größeren Blase.

Etwas ähnliches hat Dutour beobachtet (Journ. de Phys. 1780. p. 242.). Ein von zwei concentrischen Kreisen begrenzter Glasring wird von einer Kraft losgerissen, welche derjenigen bei einer Scheibe von gleichem Flächeninhalte gleich war. Bedeckt man aber den hohlen Theil luftdicht mit einer Metallplatte, so wurde die zum Abreißen nöthige Kraft so groß, wie bei einer vollen Scheibe von einem Umfange, der dem äußeren Kreise des Ringes gleich war; obgleich das Wasser die Platte gar nicht berührte. Dutour hat die Ursache nicht angegeben. Sie ist rein aerostatisch. Beim Anheben der Wasserschicht unter der Scheibe wird die Luft unterhalb der Metallplatte etwas verdünnt und die atmosphärische Luft drückt eine flüssige Säule empor, deren Höhe von dem

Unterschiede in der Dichtigkeit der Luft im Innern und Aeußern abhängig ist. Die Höhe dieser durch die Luft getragenen Säule ist beim Wasser nun um 0,005 kleiner, als die durch Synaphie getragene, also nicht merklich von ihr verschieden. Eben so ist es bei andren Flüssigkeiten.

Die Aehnlichkeit zwischen dieser Beobachtung und der meinigen bei Blasen ist jedoch nur scheinbar. Hier ist der Luftdruck ohne Einfluß, ausgenommen in so fern er das Entweichen der Blase verhindert. Die Ursache der erhöhten Tragkraft liegt in der nach der Blase zu concaven Gestalt der Oberfläche der Flüssigkeit. Ich werde mich mit diesem bisher noch nicht untersuchten Gegenstande, der eine interessante Anwendung der allgemeinen Formeln für das Gleichgewicht der Flüssigen gestattet, an einem andren Orte beschäftigen.

Die Blasen müssen daher sorgfältig vermieden werden. Das leichteste Mittel ist, die Platte zuerst in der Nähe der Wand, wo die Flüssigkeit immer höher steht, mit ihr in Berührung zu bringen. Sie verbreitet sich dann schnell über die Platte und verdrängt die Blasen. Wenn sie diesem Verfahren nicht weichen, so ist die Oberfläche des Flüssigen nicht ganz rein.

§. 25. Ruhland (Schweigg. Journ. **1814. XI. p. 146.**) beschreibt Versuche, bei denen ein Zusatz von $^1/_{480}$ einer Säure oder von Kali zu Wasser die Kraft der Adhäsionsplatte um $^1/_6$ und darüber verminderte. Ich habe sie wiederholt, aber sie nur dann bestätigt gefunden, wenn sich der Tropfen anfangs über die Oberfläche hin verbreitet, was trotz seines größern specifischen Gewichts recht gut möglich ist. Dann kommt die Platte nicht mit dem Wasser, sondern mit der Materie des Tropfens in Berührung. Hat diese nun eine kleinere Cohärenz als das Wasser, was in den erwähnten Beispielen der Fall ist, so wird die Kraft vermindert. Ist die Cohärenz im Tropfen nicht kleiner, so wird das zum Reißen nöthige Gewicht nicht merklich verändert werden. Dem Wasser beigemischt ist dieser Zusatz ohne Einfluß.

§. 26. Zu meinen Haarröhren suchte ich diejenigen aus, deren Querschnitt bei einem 100 — 150 Millimeter langen Stücke an keinem Orte um $^1/_{200}$ variirte, und kreisförmig war. Zu diesem Behufe legte ich die Röhre, neben eine andere von ungefähr gleichem Durchmesser unter eine scharfe Lupe und

drehte sie um ihre Achse. Ich bin überzeugt, daß man auf diese Weise jeden Unterschied in der Cylinderform, welcher auf die Capillarhöhe merklich einwirkt, wahrnehmen kann. Der größte Theil der hier käuflichen Röhren mußte daher verworfen werden; doch blieb mir eine bedeutende Anzahl, nahe an 100, übrig. Diese wurden bezeichnet, abgeschliffen und ihre Durchmesser bestimmt. Dieses geschah immer durch Abwägen einer Quecksilbersäule, eine Methode, welche selbst bei Röhren von 0,6 Millimeter Weite, noch hinlänglich genaue Resultate giebt. Zuweilen legte ich einen Tropfen Quecksilber auf Filtrirpapier und sog ihn abwechselnd in mehrere Röhren. Man findet zwar nach einiger Uebung auch hier die verhältnißmäßige Weite mit hinlänglicher Genauigkeit, aber wegen der kaum vermeidlichen Verunreinigung der Röhre mit der Feuchtigkeit des Mundes, möchte ich diese Methode nicht empfehlen.

Die Röhren wurden nun zugleich mit einem Maßstabe an den Arm eines Trägers gebracht, der durch Stellschrauben und ein Loth genau senkrecht gestellt wurde und so befestigt, daß man sie mit einiger Reibung auf und ab ziehen kann. Ein beweglicher Zeiger mit Nonius Diopter und Lupe gab den oberen Rand der flüssigen Säule, und ein Metalldraht mit einer Glasspitze, die genau auf den Anfangspunkt der Scale eingestellt war, das Niveau im Gefäße an. Durch tieferes Eintauchen konnte die Röhre immer feucht gehalten werden.

§. 27. Die Beobachtung darf erst dann vorgenommen werden, wenn die flüssige Säule vollkommen beweglich ist. Dieß ist aber nur der Fall, wenn die Röhre benetzt ist. Ist sie es nicht, oder ist das Innere der Röhre nicht ganz rein, so wird der normale Stand gar nicht, oder nur sehr langsam erreicht. Hierbei habe ich folgende paradoxe Erscheinung bemerkt. Das Ansteigen der Flüssigkeit in eine unten eingetauchte Röhre ist anfangs rasch und nimmt in der Nähe des höchsten Standes allmälig an Geschwindigkeit ab. Man wird die Reibung für die Ursache halten und sie zu vermindren suchen, indem man die Röhre tiefer einsenkt, oder die Flüssigkeit aufsaugt. Allein die Bewegung wird dadurch in der Regel nicht beschleunigt; denn sobald die Röhre wieder in ihren früheren Zustand gebracht ist, geht die Flüssigkeit ungefähr auf den Ort, an dem sie vorher war, schnell zurück und setzt dann ihren Gang, dieser mag im Steigen oder im Fallen bestehen, fort, als

wenn gar keine Unterbrechung statt gefunden hätte. Selbst ein Draht, den man von oben in die Röhre steckt und der sowohl die Gestalt als die Höhe der Säule ändert, läßt keine bleibende Wirkung zurück. Von einer Reibung der Flüssigkeit an den Wänden der Röhre, so bedeutend sie auch an der obern Fläche sowohl, als an andren Punkten der Säule ist, kann also die Verzögerung nicht abhängen, denn diese müßte von gleicher Intensität wirken, das Flüssige mag durch Cohäsion, oder durch fremde Kräfte gehoben oder gesenkt sein.

§. 28. Die Ursache ist wahrscheinlich folgende: Das stabile Gleichgewicht eines in einem engen Raume angestiegenen Flüssigen muß ein doppeltes sein. Erstlich zwischen der Prosaphie des Flüssigen und der Röhre und der Synaphie, wovon der Winkel w abhängt. Zweitens zwischen diesem Winkel nebst der davon bedingten Krümmung der Oberfläche, und der Höhe über dem Niveau.

Die Kraft, welche aus dem Streben nach dem zweiten Gleichgewichte hervorgeht, erzeugt eine Bewegung der Flüssigkeit längs der Wand der Röhre, welche, wie jede Strömung, von der Reibung an der Wand abhängt, und in der Folge (Siehe Ausfluß der Flüssigen) näher betrachtet werden soll. Sie ist bei Röhren von 0,6 Millimeter Weite und 100 Millim. und darunter Länge so klein, daß eine flüssige Säule von einigen Millimetern keine Secunde braucht, um von dem obern Ende der vertical gestellten Röhre nach dem untern zu kommen. Diese Reibung findet nur bei vollkommener Benetzung statt, bei welcher durch das Fortschreiten der Flüssigkeit die Art ihrer Berührung mit der Röhre nicht merklich verändert wird.

Ganz anders wirken die Kräfte beim ersten Gleichgewichte. Die Röhre ist dann niemals vollständig benetzt und die flüssige Schicht auf ihrer innern Wand ist in einer Veränderung begriffen, entweder indem sie den Widerstand besiegt und ihren Capillarstand zu erreichen sucht, oder indem die Schicht verändert wird und der Berührungswinkel w, der bei vollkommener Benetzung $= 0$ ist, größer wird. Zwischen der jedesmaligen Größe dieses Winkels und der Höhe der Säule findet eine Relation statt, auf welche die oben angeführten, die Höhe der Säule verändernden, äußeren Kräfte keinen Einfluß haben. Ein allmäliges Sinken der Flüssigkeit von ihrem Capillaritätsstande habe ich fast bei allen Salzlösungen, Säu-

ren und Alkalien, bei nicht ganz reinen Röhren selbst im Wasser beobachtet. Sie ist eines der vornehmsten Hindernisse bei Beobachtungen mit Haarröhren.

Leicht benetzende Feuchtigkeiten, wie Alkohol, Aether, Oele, bewegen sich sehr leicht in Röhren, selbst wenn diese nicht ganz rein sind. Ich werde später zeigen, daß sie sich in vollkommen benetzten Röhren weit langsamer bewegen, als z. B. das schwach netzende Wasser. Es ist daher immer ein Zeichen von mangelhafter Benetzung, wenn sich eine Wassersäule minder leicht auf- und abführen läßt als Weingeist.

§. 29. Wenn die flüssige Säule durch Luftblasen unterbrochen ist, so wird die Bewegung so träge, daß es oft unmöglich ist, sie ohne starken Druck aus der Röhre fortzubringen. Diese Blasen bilden sich vorzüglich bei nicht leicht benetzenden Flüssigkeiten, wenn das Innere der Röhre an einigen Stellen nicht ganz rein ist. Sie dienen der Flüssigkeit, die man im Innern der Röhre, um sie zu benetzen, hin- und herführt, als Sammelplatz, und allmälig ist eine kleine die Weite der Röhre ganz einnehmende Säule gebildet, welche, wenn sie fortgeschafft ist, sich an demselben Orte gern erneuert. Solche Stellen bilden sich immer, wenn man die Luft des Mundes oder gar organische Feuchtigkeit durch die Röhre zieht, und können nur mit Mühe und durch chemische Mittel fortgeschafft werden. Wenn diese Stellen ganz innerhalb der flüssigen Säule fallen, so sind sie ohne nachtheiligen Einfluß. Je länger die Röhre, desto größer ist die Gefahr, daß sich Blasen in dem leeren Raume oder in der Flüssigkeit bilden, daher ist es zweckmäßig, die Röhren so kurz zu nehmen, als es der Apparat erlaubt.

§. 30. Die von der Benetzung herrührenden Störungen schienen wie bei engen Röhren im Verhältniß zur Höhe des Niveaus nicht viel größer zu seyn, als bei weiten. Bei diesen sind jedoch die von der Messung und der Wölbung herrührenden Beobachtungsfehler größer, bei jenen ist die Reibung stärker. Meine Röhren hatten Halbmesser von 0,33—1,0 Millimeter. Für schwer netzende Flüssigkeiten schienen mir die weitern Röhren zweckmäßiger zu sein.

Unter günstigen Umständen ist das obere Ende der Säule, während einer zum Messen hinlänglichen Zeit, so constant, wie im Barometer und kann durch einen passenden Mechanismus eben so

scharf beobachtet werden. Ich halte daher, wenn man für vollkommene Beweglichkeit der Säule über und unter dem Stande des Gleichgewichtes Sorge trägt, die Haarröhren für besser geeignet zur Bestimmung der Synaphie als die Adhäsionsplatten, die sich weit weniger genau beobachten lassen. Ferner ergiebt sich aus den Gleichungen des §. 32., daß eine Ungewißheit von 1 : m des Ganzen bei Beobachtungen mit Haarröhrchen für die Synaphie mit Platten nur 1 : 2 m beträgt. Dagegen wird ein Fehler von 1 : m bei Adhäsionsplatten verdoppelt, wenn man den Stand in Haarröhrchen daraus ableiten will.

Link hat, wie vor ihm Newton, Hauy und Andere, einige Versuche mit parallelen Platten bekannt gemacht. Weder die absoluten Werthe, noch die relativen, welche er für verschiedene Flüssigkeiten und Platten gefunden hat, sprechen jedoch für die Zweckmäßigkeit der Methode, indem jene von Gaylussac's und meinen Versuchen, diese unter einander bedeutend abweichen. Indessen sind die parallelen Platten vielleicht von einigem Nutzen bei der Bestimmung der Prosaphie von Flüssigkeiten gegen feste Körper, die sie nicht benetzen.

Das Gewicht eines Tropfens, der von einer Fläche von bekannten Dimensionen, etwa von dem Segmente einer großen Kugel herabfällt, ist ebenfalls von der Synaphie der flüssigen Theilen abhängig. Allein eine Berechnung nach den bisher bekannten Gleichungen führt auf Resultate, welche von den übereinstimmenden andrer Methoden bedeutend abweichen, indem man auf mehrere die Größe der Tropfen bestimmende Umstände keine Rücksicht genommen hat. Ich werde späterhin ausführlicher von den Tropfen handeln.

Beobachtungen.

§. 31. Die Tabellen über die Synaphie enthalten die Beobachtungen nicht unmittelbar, sondern stets auf folgende Weise von mir berechnet.

M bezeichnet das Gewicht, welches eine Adhäsionsplatte von unendlicher Ausdehnung tragen kann. Die Einheit des Drucks ist eine Atmosphäre von 760 Millimeter Queckſilber. Jenes Gewicht ist unabhängig von der Größe der Scheibe, mit der man beobachtet, und den Einheiten der Länge und der Gewichte. Diese Zahl mag Synaphie schlechthin, oder wo eine Verwechselnng zu befürchten ist, Gewichts-Synaphie heißen.

D ist die Differenz der beiden Niveaus innerhalb und außerhalb einer Röhre von = 0,01 Millimeter Weite, wobei man die Wölbung vernachlässigen kann.

M : ϱ ist die specifische Synaphie. Es ist eine für die Theorie der Cohärenz des Flüssigen eben so wichtige Zahl wie die specifische Elasticität für die Elasticität der festen und flüssigen Körper. Sie hat auch eine physische Realität. Sie ist nämlich der Dicke der flüssigen Schichten, welche die Adhäsionsplatte tragen kann, proportional. Unmittelbar beobachtet ist diese noch nirgends und von mir nur aus der Capillarhöhe oder der Synaphie berechnet.

§. 32. Die Reductionsformeln der Tabellen sind:

p die Anzahl der Gramme, durch welche eine runde Scheibe von dem Radius = r, von der Flüssigkeit abgerissen wird.

d die Höhe des niedrigsten Punktes der obern Fläche der Säule in den Haarröhren über dem Niveau.

s der Radius der Röhre in Millimetern.

m = 10313 Milligramm, der Druck einer Atmosphäre auf einen Quadrat Millimeter.

ϱ das specifische Gewicht; so ist

$$D = (d + \tfrac{1}{3} s)\, s.$$

$$mM = \frac{p}{\pi r^2}\left(1 + \frac{p}{6\varrho\pi r^3}\right)$$

$$= V\,[2\,{}^2s\,(d + \tfrac{1}{3}s)] = \varrho V 2D.$$

Die Dicke der an der Adhäsionsplatte hangenden Schichte ist im Augenblicke des Reißens = mM : ϱ.

Bei Beobachtungen von geringer Genauigkeit kann man das zweite Glied dieser Gleichungen fortlassen und setzen;

$$mM = \frac{p}{\pi r^2} = \varrho V\,[2sd]$$

$$D = \frac{m^2M^2}{2\varrho^2}$$

§. 33. Die Anzahl der Beobachtungen ist groß, schon die ältern Physiker haben den Stand am Wasser, Weingeist und einigen Oelen gemessen.

Musschenbroek, Dissert. phys. 1729. p. 279., theilt mehrere Versuche über Haarröhrchen mit. Er glaubt zu finden,

daß die Capillarhöhe von der Beschaffenheit des Glases und der Länge der Röhre abhängig sei. Denselben Fehler beging späterhin Arnim (Gilb. Annal. 800. IV. p. 376.).

Hallström (Gilb. Annal. 1803. XIV. p. 425.) leitet ihn mit Recht her von der Feuchtigkeit des Mundes, die beim Saugen in die Röhre kam und sie mit ihren öligen Bestandtheilen verunreinigte.

Dutour Journ. de Phys. 1780. I. p. 234. Adhäsionsplatten.

Besile Journ. de Phys. 1786. XXVIII. p. 171. Adhäsionsplatten. Auch Röhren, die zum Theil mit Wasser gefüllt, wie Platten abgerissen wurden. Dieses Verfahren verdient untersucht zu werden. Nicht sowohl um die Synaphie zu finden, als wegen seiner eigenthümlichen Verhältnisse und seiner Anwendbarkeit auf nicht benetzende Flüssigkeiten, z. B. Quecksilber.

Huth Gren Journ. 1797. III. p. 299. Die Kraft mit der verschiedenen Holzarten, glatt oder ungehobelt, vom Wasser abgerissen wurden.

Dutrochet Ann. Ch. Ph. 1832. II. p. 43. Einige Messungen mit Haarröhrchen.

Alle diese Untersuchungen haben für die quantitative Bestimmung der Synaphie keine Bedeutung. In den folgenden Paragraphen gebe ich die aus allen einiges Zutrauen verdienenden Beobachtungen von Adhäsionsplatten und Haarröhrchen die von mir berechneten Werthe von M.

§. 34. Die Synaphie des Queckſilbers ist nach Morveau's Angabe (Journ. de Phys. 1773. I. p. 168.) für die Kraft, mit welcher eine Adhäsionsplatte von Gold am Queckſilber haftet, berechnet, unter der Voraussetzung, daß die Benetzung hier vollständig war. Indessen ist dieses nicht ausgemacht. Andrerseits wird Gold vom Queckſilber aufgelöst und das gehobene Gewicht konnte zu groß sein. In seinen übrigen Versuchen mit Adhäsionsplatten zeigt sich Morveau nicht als guten Beobachter.

	spec. Gew.	Milliontel Atmosphäre		Capillar.
	ϱ	M	M:ϱ	D
Queckſilber	13,59	3990	294	4,60

Eine Platte von Kupfer, das sich weit weniger amalgamirt als Gold, würde genauere Resultate geben. Noch besser würde Platin

oder Eisen sein, wenn es sich bestätigen sollte, daß sie bei ganz reinen Oberflächen sich mit Quecksilber benetzen, ohne sich zu amalgamiren. Am besten möchte eine weite Röhre mit dünnen Wänden sein, die oben verschlossen und zum Theil mit Quecksilber gefüllt, von einer Quecksilberfläche abgerissen wird.

§. 35. Die größte Anzahl von Beobachtungen hat Achard geliefert. (Phys. chemische Schriften. 1780. p. 354—67). Dieser sehr thätige und scharfsinnige Mann hat das Mißgeschick gehabt, daß seine Arbeiten wenig geachtet wurden. Ohne gründliche Kenntnisse weder im empirischen, noch im mathematischen Theile der Physik und Chemie, stellt er bei zweifelhaften Fällen eine Menge von Versuchen an, die an Sorgfalt und vielleicht auch an Redlichkeit vieles zu wünschen übrig lassen, und verbindet sie durch eine Theorie, die zuweilen wunderbar gut mit dem Experiment übereinstimmt. Er findet z. B. die Gewichts-Synaphie den Quadraten der Durchmesser proportional, und zwar so genau, daß bei Wasser, Weingeist und andren Flüssigkeiten die Unterschiede zwischen Platten von 7 bis 1¼ Zoll Durchmesser nur $^1/_{5000}$ — $^1/_{23000}$ des Ganzen betragen, während seine Beobachtungsfehler 0,1 und darüber sind. Eben so trefflich stimmen seine Versuche mit seiner Theorie über die Veränderungen durch Wärme. Indessen hat er bei den Versuchen, die den folgenden Tabellen zum Grunde liegen, keine Theorie zu vertheidigen und übersah sogar ein Gesetz, das er bei größerer Sorgfalt hätte finden müssen, daß alle Platten von gleicher Größe eine gleich große Kraft zum Abreißen verlangen. Diejenige seiner Platten, auf welche ich vornehmlich Rücksicht nahm, war von Glas, rund und hatte einen Durchmesser von 20,6 Millimetern.

Die Versuche leiden an zwei Hauptfehlern. Der erste besteht in dem immer etwas zu frühen Abreißen der Platten; der zweite in mangelhafter Benetzung. Jener mag im Durchschnitte bei allen Flüssigkeiten fast gleich gewesen sein; dieser ist dagegen weit stärker für schwerer benetzende Flüssigkeiten, wie Wasser, Salzlösungen, als für Weingeist, der immer ziemlich richtig beobachtet wird. Den zweiten zu eliminiren ist unmöglich. Aber um den ersten fortzuschaffen, habe ich für den Weingeist den Werth in der Tabelle gesetzt, der sich aus Gay-Lussac's und meinen Versuchen ergiebt und die andren verhältnißmäßig reducirt. Die absoluten Werthe bei destillirtem Wasser und Weingeist sind:

für M = 424 und 251. [0,870]
M:ϱ = 424 und 299. [0,870]
D = 9,55 und 4,75. [0,755]

Die Zahlen der Parentheſen ſind die Factoren, mit denen man die Größen der Tabellen multipliciren muß, um Achard's abſolute Größen zu erlangen.

Die Temperatur war etwa 21°.

Das ſpecifiſche Gewicht iſt von ihm ſelbſt beobachtet.

Einige ganz unreine Körper habe ich fortgelaſſen.

Stoff.	Spec.Gew.	Milliontel Atmoſph. M.	M:ϱ.	Capill. D.
Waſſer	1,000	487	487	12,6
Schwefelſäure	868	615	329	5,4
Salpeterſäure	191	519	436	10,1
Salzſäure	224	503	411	9,0
Eſſigſäure, concentrirt	020	465	456	11,1
" gemeine	001	449	449	10,7
Brenzliche Weinſäure (brenzl. Weinſteinſpiritus)	013	423	418	9,3
Kohlenſ. Ammoniak	046	439	420	9,4
Salpeterſaurer Talk	328	535	403	8,6
" Thonerde	230	530	432	9,9
" Blei	204	481	400	8,5
Salzſaur. Kalk	289	567	440	10,3
" Thonerde	125	546	485	12,4
Eſſigſaures Blei	131	524	464	11,6
" Kupfer	000	514	514	14,1
Weingeiſt	0,842	289	343	6,2
Aether, unrein	829	291	351	6,3
Salpeteräther, unrein	849	305	359	6,8
Terpentinöl	881	321	365	7,1
Bernſteinöl	921	342	372	7,4
Aniſöl	987	391	397	8,4
Süßmandelöl	908	353	389	8,0
Fenchelöl	974	380	390	8,1
Mohnſamen- und Leinöl	928	358	387	8,0

§. 36. Link hat die Synaphie auf mehrfache Weiſe beobachtet, mit Adhäſionsplatten (Gilb. Annal. 1814. XLVIII. p. 4) und durch zwei einander parallel gerichteten Ebenen (Pogg. Annal. 1833.

XXIX. p. 593.). Ich nehme hier nur auf die ersten Versuche Rücksicht. Diese sind angestellt mit einer runden Platte von 23,0 Millim. Durchmesser, und geben die Gewichte, die 10—29 Gran betragen nur in ganzen Granen. Indessen sind die Fehler, welche dadurch entstehen können, unbedeutend gegen die großen Differenzen zwischen den Resultaten von Link und denen andrer Beobachter. Die absoluten Werthe für Wasser und für Weingeist von 0,840 sind:

M = 362 und 217. [0,775]
M:ϱ = 362 und 259. [0,775]
D = 7,0 und 3,6. [0,600]

Es würde sich also für das Wasser noch nicht die Hälfte der wahren Capillaritätshöhe ergeben. Etwas kleiner, aber immer noch sehr groß, sind die Unterschiede bei Weingeist und Oelen. Ich kann mir dieses nur durch einen Irrthum in der Angabe für die Größe der Platte erklären, und habe deßhalb hier dasselbe Verfahren eingeschlagen, wie bei Achard. Um Link's eigene Angaben zu erhalten, muß man die Zahlen der Tabelle mit den in Parenthese gesetzten Factoren multipliciren. Die Temperatur war etwa 19° C. Das specifische Gewicht ist nur selten angegeben; wo ich es suplirt habe, steht ein Fragezeichen.

Stoff.	Spec. Gew.	Millionteil Atmosph. M.	M:ϱ	Capill. D.
Wasser	1,000	467	467	11,6
Schwefelsäure	803	541	300	4,8
	490	530	256	6,7
Salzsäure, gesättigt	119?	467	417	9,3
Aetzkali	216	392	322	5,5
Schwefelsaures Natron, gesättigt	172?	411	351	6,5
Salpetersaures Kali	130?	429	380	7,7
Essigsaures Blei	213?	467	385	7,9
Alkohol, absoluter	810?	280	346	6,4
= verdünnt	840	280	333	5,9
Aether, ganz rein	710?	187	253	5,2
Terpentinöl	880?	280	318	5,4
Steinöl	923?	299	322	5,5
Mandelöl	920?	299	325	5,6

§. 37. Mit Haarröhren hat Emmet (Phil. Mag. Annals. 1826. I. p. 116 und 332) einige Versuche angestellt. Sie sind zirmlich genau, enthalten aber weder die Temperatur, noch das specifische Gewicht, und konnten daher nicht auf M und M:ϱ berechnet werden, wenn ich nicht auf eine noch mehr unsichere Weise als bei Link, das specifische Gewicht suppliren wollte. Auch hat er nicht die Weite der Röhren angegeben, sondern giebt nur das Verhältniß zum Wasser, wobei Irrthümer nicht zu vermeiden sind. Ich habe das Wasser = 15,0 gesetzt und die übrigen Zahlen danach berechnet.

Stoff.	Capillar. D.
Wasser	15,0
Salpetersäure, concentrirt	11,2
Salzsäure "	10,5
Kohlensaures Kali, zerflossen	13,3
Schwefelsaures Kali, gesättigt	14,3
" Kupfer, "	12,6
Schwefelkalium	14,3
Salzsaures Natron, gesättigt	13,2
" Ammoniak, "	14,3
Zuckerwasser (4 Wasser auf 1 Zucker)	9,1
Alkohol	6,1
Aether	5,6
Lavendel-, Baumöl und raff. Thran	5,6

§. 38. Reichenbach hat, was bei Chemikern sehr ungewöhnlich ist, bei den von ihm entdeckten Körpern auch die physischen Eigenschaften genau untersucht. (Siehe Schweigg. Journ. das Kreosot. 1833. LXX. p. 20, das Picamar XVIII. p. 299, das Kapnomor 1834. I, p. 6 und die beiden Arten von Eupion 1831. II. p. 129 und 1834. I. p. 382.) Er bediente sich der Haarröhren, giebt aber nicht den absoluten Capillarstand seiner Flüssigkeit in Röhren von bekannter Weite, sondern nur die relativen gegen Wasser. Bei der Leichtigkeit aber, mit der alle diese Stoffe das Glas benetzen, und der Umsicht des Beobachters darf man seine Angaben

für sehr genau halten. Ich habe sie unter der Voraussetzung berechnet, daß Wasser = 15,0 Millimeter ist.

Die Temperatur war immer ungefähr 26° C.

Stoff.	Spec.Gew. ϱ.	Milliontel M.	Atmosph. M:ϱ	Capillar. D.
Picamar	1,100	438	398	8,4
Kreosot	037	402	388	8,0
Kapnomor	0,977	327	355	6,7
Eupion, unrein	740	311	420	9,4
Eupion, rein	655	221	338	5,7

§. 39. Die genauesten Beobachtungen über die Synaphie verdanken wir Gayluſſac. Er bediente ſich gewöhnlich der Haarröhren, zuweilen auch der Adhäſionsplatten. Mit beiden Methoden erlangte er übereinſtimmende Reſultate. Es iſt nur zu bedauern, daß ihrer ſo wenige ſind. Vermuthlich hat ihn die Schwierigkeit bei Körpern von großem ſpecifiſchen Gewichte und geringer Capillarität genaue Reſultate zu erlangen, zurückgehalten, mit ſeinem vortrefflichen Apparate mehrere Stoffe zu unterſuchen. Seine Arbeiten ſtehen in dem Supplemente zu Laplace's Theorie der Capillarität und in Poiſſon's Neuer Theorie p. 293.

Laplace theilt in ſeiner Theorie der Capillarität auch einige Beobachtungen von Hauy und Tremery über Waſſer, Weingeiſt und Baumöl in Haarröhrchen mit. Sie weichen aber ſo ſehr von den genauen Verſuchen Gayluſſac's ab, daß man vermuthet hat, Hauy habe ſeine Röhren nicht benetzt. Aber dann konnten die verſchiedenen Apparate nicht ſo übereinſtimmende Reſultate gegeben haben. Hauy hat franzöſiſche Linien mit den damals erſt eingeführten Millimetern verwechſelt. Reducirt man unter dieſen Vorausſetzungen ſeine Angaben beim Waſſer und Weingeiſt, ſo ſtimmen ſie ſehr gut mit denen von Gayluſſac. Auf dieſe Weiſe iſt der Werth des Baumöls in der Tabelle berechnet.

Stoff.	Temperat. C.	Spec.Gew ϱ.	Millimeter M.	Atmoſph. M:ϱ.	Capillarit. D.
Waſſer	11°	1,000	531,6	531,6	15,03
"	8°, 5	"	533,4	533,4	15,13
Salpeterſäure	"	1,369	570,8	426,6	9,24

Stoff.	Temper. C.	Sp. Gew. ϱ.	Milliontel Atmosph. M.	M:ϱ	Capillar. D.
Salpetersäure	8°,5	1,275	572,6	449,2	10,73
"	"	215	567,5	467,0	11,59
"	"	147	555,9	484,5	12,48
"	"	089	548,1	504,3	13,47
Weingeist	11°	0,8196	274,2	334,6	5,95
"	"	8595	284,5	330,1	5,99
"	"	8726	294,8	338,4	6,09
"	"	9068	309,4	341,2	6.19
"	"	9415	328,6	349,0	6,48
"	"	9657	358,6	371,3	7,33
"	"	9779	400,3	409,3	8,92
Terpentinöl	8°	0,8695	305,9	351,8	6,58
Baumöl, (Hauy)	"	9150	343,6	357,5	7,50

§. 40. Die von mir untersuchten Stoffe waren chemisch rein, und wenn der physischen Verbindungen mehrere waren, die eine der Concentration gewöhnlich sehr nahe. Das specifische Gewicht ist an einer guten Wage mittels einer Glaskugel beobachtet. Die Synaphie wurde aus der Höhe der Säule in einem Haarröhrchen mit Anwendung der nöthigen Correctionen berechnet, und nur dann in die Tabelle aufgenommen, wenn drei, gewöhnlich vier und mehr Röhren in verschiedener Stellung nahe übereinstimmende Resultate gaben. Die Versuche, welche ich mit Adhäsionsplatten angestellt habe, stimmten bei Wasser und Alkohol recht gut mit den übrigen, aber ich konnte sie nicht so oft wiederholen und bei schwer netzenden Flüssigkeiten die Schwierigkeiten bis jetzt noch nicht so vollständig überwinden, als bei Haarröhren. Im Durchschnitte sind meine Angaben für die Capillaritätshöhe bis auf 0,01 des Ganzen genau. Bei mehreren, besonders leicht netzenden Flüssigkeiten, kann ich noch für eine bedeutend höhere Genauigkeit bürgen; bei schwer netzenden Auflösungen von öliger Consistenz kann der Fehler jedoch zuweilen 0,02—0,03 betragen. In den Werthen von M und M:ϱ ist er nun halb so groß als bei D, also fast niemals über 0,01 und ich zweifle, daß man bei einer der bisher üblichen Methoden genauere Resultate erlangen könne. Selbst bei Gaylussac weichen die beiden Beobachtungen des Wassers, obgleich sie mit Röhren von beinahe gleicher Weite und bei fast gleicher Temperatur angestellt

sind, um 0,01 ab. Die von mir im Tagebuche als sehr gelungen bezeichneten Beobachtungen geben fast immer eine höhere Synaphie als die minder guten. Ich habe darauf bei der Berechnung der Medien geachtet, indem ich den höhern Werthen eine größre Wahrscheinlichkeit zuschrieb. Auch sind sämmtliche Angaben von Link, Achard und den ältern Beobachtern zu klein.

Stoff.	Temp C.	Sp. Gw. ϱ.	Millionteltmosph. M.	M : ϱ	Capill. D.
Wasser [1])	0°	1,000	536,6	536,6	15,30
"	6°5	0,999	527,9	528,4	14,84
Schwefelsäure [2])	14°5	1,819	663,8	359,0	6,85
" "	17°5	782	703,9	395,0	8,30
" "	"	609	676,9	420,7	9,40
" "	"	522	660,1	433,7	10,00
" "	"	382	642,6	465,0	11,50
" "	"	195	585,2	489,2	12,74
" "	"	127	566,0	502,2	13,41

[1]) Das Wasser habe ich zu verschiedenen Zeiten untersucht. Ich theile als Beispiel die Beobachtuugen mit, die an einem Tage bei einer Temperatur von 16° 5 mit verschiedenen Röhren angestellt sind. Es ist der Werth D der Tabelle.

14,71; 14,75; 14,78; 14,79; 14,86; 14,87; 14,88; 15,09; 15,10.

An andren Tagen wurden auch noch andre, aber sämmtlich in denselben Grenzen liegenden Zahlen gefunden. 1488 ist das Medium aller Werthe, auch die beiden letzten nicht ausgeschlossen.

Für Wasser von 0° fand ich

15,08; 15,10; 15,27; 15,31; 15,34; 15,37;

Da die höhern Werthe etwas besser zu sein scheinen, so nahm ich 15,30 als Medium. Doch ist diese Zahl vielleicht noch zu groß.

In reinen Röhren bewegte sich das Wasser recht leicht; aber ein sehr kleiner Rückstand aus einem frühern Versuche reicht hin, in dem Wasser jene retrograde Bewegung zu veranlassen, welche der Hauptfeind der Capillarbeobachtungen ist.

[2]) Die Unregelmäßigkeit in der Reihenfolge rührt vielleicht von einem Beobachtungsfehler in D oder ϱ her. Die concentrirte Schwefelsäure ist sehr schwer zu beobachten. Sie fließt zwar ziemlich leicht, aber sie sinkt sehr schnell von ihrem Normalstande in den Röhren herab. Bei ganz verdünnten Säuren dagegen stimmten die Höhen in verschiedenen Haarröhren sehr gut mit einander.

Stoff.	Temp C.	Sp. Gw. ϱ.	Milliontel M.	Atmosph. M:ϱ	Capill. D.
Phosphorsäure	13°	1,141	56,36	49,54	13,00
Arsenikſäure	„	1,309	619,2	473,0	11,90
Salzsäure	17°5	1,153	556,8	482,9	12,40
„	„	113	548,3	492,6	12,90
„	„	057	540,5	511,4	13,90
Salpeterſäure [1])	16°	1,500	491,1	327,4	5,70
„	„	432	537,7	375,5	7,50
„	„	372	557,7	406,8	8,80
„	19°	271	568,6	447,5	10,65
„	13°	223	563,6	460,9	11,30
„	19°	117	546,1	488,9	12,71
Eſſigſäure [2]) concentr.	19°	1,068	391,8	366,9	7,16
„ verdünnt	13°	044	424,0	406,1	8,77
Ameiſenſäure	„	060	429,7	405,4	8,74
Weinſäure	19°	114	556,6	499,6	13,30
Aepfelſäure	13°	136	545,4	480,1	12,26
Citronenſäure	„	140	544,7	477,8	12,14
Aetzkali	19°	1,405	491,2 [3])	349,6	6,50
„	„	334	594,5	446,4	10,60
„	„	274	607,7	477,0	12,10
„	13°5	241	494,5	479,0	12,20

[1]) Salpeterſäure, welche viel ſalpetrige Säure enthielt, gab mir keine ganz zuverläſſigen Reſultate. Sie ſcheint jedoch dieſelbe Synaphie zu haben, wie reine Säure von demſelben Gewichte. Die Unregelmäßigkeit in dem Gange von M findet ſich auch bei Gayluſſac und iſt bei mir nur darum ſtärker, weil ich mich noch concentrirterer Säuren bedient habe.

Die concentrirteſte Säure war ein wenig gefärbt, galt aber als rein. Sie floß ſehr ſchwer, erreichte jedoch langſam ihren Normalſtand, wie Terpentinöl. Meine Verſuche ſtimmen mit denen von Gayluſſac gut überein.

[2]) Dieſe niedrigen Stände habe ich bei vielen Verſuchen ganz übereinſtimmend gefunden. Auch fließt die Eſſigſäure ſo leicht wie Aether. Den Weingeiſt ausgenommen, iſt bei allen wäſſerigen Flüſſigkeiten die Synaphie bei dieſem ſpecifiſchen Gewicht gegen 13 oder 14 Millimeter. Enthalten die beiden Säuren bei dieſer Concentration wenig freies Waſſer, oder ſtehen ſie in Beziehung auf ihre Synaphie neben den neutralen organiſchen Flüſſigkeiten? Die Weinſäure unterſcheidet ſich jedoch darin nicht von den Mineralſäuren. Ich bedaure es, daß ich bisher keine Gelegenheit hatte, andere organiſche Säuren zu unterſuchen.

[3]) Auch concentrirtes Aetzkali iſt ſehr ſchwer zu beobachten. Indeſſen iſt

Stoff.	Temp C.	Sp. Gw. ϱ.	Millionteltheile Atmosph. M.	M : ϱ	Capill. D.
Aetzkali	19°	159	559,6	482,9	12,40
Aetznatron [1])	16°	1,338	637,4	476,3	12,07
"	"	239	627,7	506,6	13,70
Kohlensaures Kali, neutral	18°	1,530	729,8	477,0	12,10
" " "	14°	276	631,0	494,5	13,00
" " doppelt	16°	081	554,2	512,7	15,97
" Natron	17°	156	560,4	492,6	12,90
" Ammoniak [2])	"	093	521,1	477,0	12,10
Schwefelsaures Natron [3])	15°	1,154	594,4	515,1	14,10
" Talk	18°	193	601,1	503,9	13,50
" Alaunerde	16°	126	500,9	564,0	13,34
" Kupferammoniak	"	071	516,6	552,8	14,18
" Zink	19°	430	465,0	664,9	11,50
" Eisenoxydul [4])	"	212	484,9	587,7	12,50
" Manganoxydul	"	455	473,0	688,2	11,90
Chromsaures Kali	13°5	070	520,5	556,9	14,40
Phosphorsaures Natron	19°	1,043	535,5	513,2	14,00
Arsenikſaurer Kalk	"	176	592,6	503,9	13,50
" Ammoniak	"	223	611,0	499,6	13,30
Salzsaures Natron [5])	19°	1,200	615,8	513,2	14,00
" Ammoniak [5])	"	070	556,9	520,5	14,40

6,50 fast der höchste Werth, den ich in sehr oft wiederholten Versuchen gefunden habe.

[1]) Das Aetznatron war bei gleichem specifischen Gewichte leichter zu beobachten, als das Aetzkali, welches sich an der Luft zu schnell veränderte. Aetzammoniak hatte ebenfalls eine beträchtlich geringere Capillarität als Wasser.

[2]) Geringe Veränderungen in dem specifischen Gewichte, welche von dem Auskrystallisiren eines Theils des Salzes herrührten, brachten eine so große Vermehrung der Capillarität hervor, daß ich geneigt bin, die Zahl der Tabelle für zu klein zu halten.

[3]) Dieses Salz floß nicht leicht. Die Beobachtung ist daher um einige Hunderttheile ungewiß.

[4]) Da es sehr langsam durchfiltrirt war, so enthielt es eine große Menge Oxyd. Jedoch war die Auflösung ganz klar.

[5]) Diese beiden Auflösungen flossen nicht gut und verschiedene Beobachtungen weichen mehr von einander ab, als bei andren Salzen. Die in der Tabelle aufgenommenen Mittelwerthe können aber keinen bedeutenden Fehler enthalten.

Stoff.	Temp C.	Sp. Gw. ϱ.	Millionteltmo'ph. M.	Atmo'ph. M:ϱ	Capill. D.
Salzsaurer Kalk	17°5	1,336	659,2	492,6	12,90
" "	"	178	594,1	504,3	13,52
" "	"	119	578,4	516,8	14,20
" Talk	18°	231	631,3	512,8	13,98
" Eisen	17°5	098	568,5	515,9	14,15
" Kupfer	"	426	651,5	456,9	11,10
Arsenikbutter [1])	15°	2,200	616,2	280,1	4,17
" in Weingeist gelöst	"	1,093	364,5	325,4	5,63
Salpetersaures Kali	19°	1,137	557,9	490,7	12,80
" Natron	"	373	663,1	483,0	12,40
" Baryt	"	046	534,4	510,9	13,88
" Kupfer	"	346	641,5	476,6	12,08
Essigsaures Natron	"	1,150	562,6	489,2	12,75
" Eisen	14°	050	494,5	471,0	11,80
" Kupfer	19°	426	545,3	517,9	14,26
" Blei	17°5	213	564,3	465,2	11,53
" "	"	099	556,8	506,6	13,70
Blausaures Cyan-Eisen-Kalium	16°	1,089	508,2	553,4	13,73
Weinsaures Kali [2])	19°	475	688,8	467,0	11,60
" Natron	"	254	618,2	467,0	12,92
" Natron-Kali	16°	217	601,1	493,9	12,97
Zuckerwasser	19°	1,185	597,2	503,9	13,50
Weingeist	17°	0,810	268,4	331,4	5,83
"	20°	857	286,7	334,5	5,95
"	17°	895	302,1	341,4	6,20
"	"	931	328,2	352,5	6,60
" [3])	"	967	368,3	380,8	7,71

[1]) Die Arsenikbutter ist das einzige wasserfreie Salz, das ich bis jetzt untersuchen konnte. Sie hat von allen Körpern, die ich kenne, die kleinste Synaphie und stieg in den Röhren fast so leicht wie Aether auf. Die weingeistige Lösung wirkte wie Wasser in den wässerigen Lösungen. Die Synaphie nahm zu und die Beweglichkeit ab.

[2]) Das weinsaure Kali gab in verschiedenen Versuchen sehr bedeutende Variationen. Die Angabe der Tabelle bezieht sich auf einige nahe übereinstimmende Beobachtungen.

[3]) Die sehr geringe Synaphie dieser nur 25 Procent enthaltenden Auflösung ist merkwürdig. Sie findet sich auch bei Gaylussac und bei Versuchen, die ich mit Adhäsionsplatten angestellt habe.

Stoff.	Temp C.	Sp. Gw. ϱ.	Milliontel Atmosph. M.	M : ϱ	Capill. D.
Schwefeläther [1])	19°	0,728	224,6	309,6	5,10
„	14°5	732	232,6	317,8	5,37
Schwerer Salzäther [2])	20°	1,134	352,1	310,5	5,13
Terpentinöl, rein	13°	0,897	318,6	355,2	6,71
„ unrein	„	944	358,2	379,5	7,66
Steinöl	„	787	280,3	356,2	6,75
Lavendelöl	„	897	321,8	358,8	6,34
Mandelöl [3])	„	916	342,0	373,4	7,40
Nelkenöl [4])	„	1,040	378,0	360,3	6,90
Schwefelkohlenstoff	„	1,265	417,4	330,0	5,44

§. 41. Die Oele sind sämmtlich mechanische oder cohäsive Verbindungen mehrerer Stoffe, deren verhältnißmäßige Quantität unbekannt ist. Die übereinstimmenden Synaphieen sehr verschiedener Oele lassen jedoch vermuthen, daß auch die einfachen Bestandtheile kein sehr abweichendes Verhalten zeigen werden. Meine fetten Oele, selbst das Baumöl, flossen so träge, daß ich sie gar nicht benutzen konnte, obgleich sie so rein waren, als man sie in Apotheken erlangt.

Von den meisten Aetherarten und den vielen sogenannten organischen Stoffen, theils mit, theils ohne Chlor, Jod und Schwefel, welche die Chemie in neuester Zeit entdeckt, oder reiner dargestellt hat, stand keiner mir zu Gebote. Nach den beobachteten Aetherarten und dem Schwefelkohlenstoffe zu schließen ist ihre specifische Synaphie wahrscheinlich sehr gering.

Bei keinem Stoffe bedauere ich es so sehr, daß ich sie nicht

---

[1]) Die Unterschiede des specifischen Gewichts und der Capillarität rühren zum Theil von der Temperatur her. Ich habe beide Versuche aufgenommen, weil sie zu verschiedenen Zeiten und mit Aethern von verschiedenen Orten vorgenommen waren.

[2]) Es ist der einzige Körper meiner Tabelle, dessen specifisches Gewicht ich nicht selbst bestimmt habe. 1,134 ist die Zahl, welche Gmelin in seiner Chemie nach Vogels Beobachtung angiebt. Die Quantität, die mir zu Gebote stand, war so gering, daß ein kleiner Fehler unvermeidlich war.

[3]) Es floß sehr schwer, doch konnte es noch beobachtet werden.

[4]) Das hohe specifische Gewicht dieses Oels bringt also in seiner specifischen Synaphie im Verhältnisse zu andren Oelen gar keine Veränderung hervor.

beobachten konnte, als bei dem Brom und dem Sauerstoffhyperoxyd. Das Brom ist nächst dem Queckſilber der einzige unzerſetzte Körper, der bei gewöhnlicher Temperatur flüſſig iſt; es ſteht aber dem negativ-elektriſchen Ende der Körperreihe ſo nahe, als das Metall dem poſitiven. Die Verbindung von Waſſer und Sauerſtoff hätte einige Schlüſſe auf die Synaphie des liquid gewordenen Sauerſtoffgaſes verſtattet. Ich würde keine Mühe geſcheut haben, mir dieſe Stoffe zu verſchaffen, aber mein Apparat erlaubt die Unterſuchung nicht. Ich hoffe jedoch eine Methode zu finden, welche auch in höherer Temperatur zu beobachten erlaubt und ſo den Kreis der Körper, deren Synaphie bekannt iſt, zu erweiteren.

§. 42. Die Temperatur bezieht ſich auf die Zeit der Beobachtung der Synaphie. Sie war, das Waſſer ausgenommen, wo Röhre und Flüſſigkeit auf 0^0 gebracht wurden, immer zwiſchen 13 und 20^0. Das ſpecifiſche Gewicht iſt faſt immer bei $18—19^0$ beſtimmt worden und bezieht ſich auf Waſſer von gleicher Temperatur. Die Variationen der Temperatur ſind daher viel kleiner, als die aus andren Urſachen herrührenden Fehler.

Bei den Operationen, welche zur Beſtimmung der Weite der Röhre ſowohl, wie zu der des ſpecifiſchen Gewichtes und der Synaphie nothwendig ſind, habe ich jede mir mögliche Sorgfalt angewendet und wo ein Mißgriff in der Bezeichnung oder in der Weite der Röhre befürchtet werden konnte, den Verſuch wiederholt. Ich hoffe daher, meine Tabelle von jedem auf das Reſultat beträchtlich einwirkenden Fehler dieſer Art frei gehalten zu haben. Deſſen ungeachtet wünſche ich, daß man meine Verſuche hier nur als vorläufig anſehe. Zu einigen theoretiſchen Reſultaten bedarf man einer noch größeren Genauigkeit, und dieſe gedenke ich mit einem neuen Apparate zu erlangen, an dem mehrere Verbeſſerungen angebracht werden, welche die Erfahrung mir an die Hand gegeben hat. Haben dann die Röhren genau die Cylinderform, ſo muß ſelbſt die zweite Decimalſtelle in den Werthen von **D** ganz zuverläſſig werden.

In den Berechnungen glaubte ich von dem jetzt bei den meiſten Phyſikern herrſchenden Gebrauche, vier, fünf, ja zehn und mehr Decimalſtellen anzugeben, wo die dritte nicht zuverläſſig iſt, abweichen zu müſſen. Die Nullen, womit ſich viele Größen in der Rubrik **D** endigen, bezeichnen bloß, daß man eine andere Zahl gar nicht mit Wahrſcheinlichkeit ſetzen konnte. In **M** und **M**:ϱ habe

ich jedoch, um die Interpolation zu erleichtern, die aus der Berechnung von D hervorgehenden Werthe vollständiger stehen lassen.

§. 43. Wo die Synaphie bei mehreren Stufen der Concentration beobachtet ist, ist es nicht schwer, sie durch irgend eine sich an die Beobachtung gut schließende Formel zu verbinden, auch hat Poisson die Versuche von Gaylussac mit Weingeist und Salpetersäure auf diese Weise berechnet. Sie haben den Nutzen, daß sie das Interpoliren erleichtern, aber den Nachtheil, häufig mit den wahren, die Erscheinung bezeichnenden Naturgesetzen verwechselt zu werden, indem man ihnen weit über die Grenze der unmittelbaren Beobachtung eine Gültigkeit zuschreibt, oder gar wie beim Dampfe, bei der Ausdehnung der Körper durch die Wärme, bei der Elasticität, Maxima und Minima herausrechnet, von denen in den Beobachtungen selbst keine Spur ist. Bei der Synaphie erscheint es mir passender, die Rubriken D oder $M:\varrho$, wenn man Formeln zu haben wünscht, zu berechnen, weil sie regelmäßiger sind als die Gewichtssynaphie und von den Maxima frei, welche sich bei den meisten Auflösungen in den Reihen von M vorfinden.

Einfluß der Temperatur auf die Synaphie.

§. 44. Ohne Einfluß kann die Wärme nicht sein, denn selbst, wenn die Gewichts-Synaphie M bei jeder Temperatur constant wäre, so würde der Stand in Haarröhren auf eine Größe *steigen*, welche dem Quadrat des specifischen Gewichts proportional wäre; Wasser müßte alsdann bei 100^0 um etwa 0,1 *höher* stehen als bei 0^0. Bleibt dagegen D oder $M:\varrho$ constant, so würde M mit dem Steigen der Temperatur *abnehmen*.

Ich habe einige Versuche in höhern Temperaturen angestellt; sie haben jedoch noch nicht die Genauigkeit, die ich ihnen künftig zu geben hoffe. Es reicht nämlich nicht hin, die Röhre in die Flüssigkeit zu stellen, diese zu erwärmen und das Thermometer und den Stand im Haarröhrchen zu gleicher Zeit zu beobachten; sondern man muß das Niveau, das sich durch die unmittelbare Wirkung der Temperatur und durch Verdampfung verändert, immer wieder einstellen, die Röhre, in der die Unterschiede der Temperatur einen bedeutenden Einfluß auf die Bewegung der flüssigen Säule haben, stets benetzt erhalten und Sorge tragen, daß ihre Temperatur derjenigen der Flüssigkeit gleich ist. Auch bringen die aufsteigenden

Luft- und Dampfblasen zuweilen einen scheinbar constant bleibenden, zu hohen Stand hervor. Die Aenderung, welche die Temperatur in der Weite der Röhre hervorbringt, hat die Tendenz die Höhe der Säule zu vermindren und kann entweder corrigirt, oder, da sie für 100° nur etwa 0,001 des Ganzen beträgt, vernachlässiget werden.

§. 45. Schon die beiden in der Tabelle mitgetheilten Beobachtungen über Wasser zeigen, daß in höhern Temperaturen eine Abnahme im Capillarstande statt findet, die hier auf 16,5 Grade 0,046, oder auf 100°, wenn er gleichmäßig fortschreitet, 0,279 des Ganzen beträgt. Nach unmittelbaren Beobachtungen bei etwa 100° ist jedoch der Verlust bedeutend kleiner und D scheint nicht weit von 14 Millimetern entfernt zu sein.

Aehnliches habe ich am Weingeiste beobachtet. Es ergab sich in einer Röhre der Werth von D bei einem specifischen Gewichte von 0,857

für	20°	26°	35°	55°	69°
	6,06	6,02	5,94	5,74	5,66.

Für eine andere Verbindung von höherem specifischen Gewichte

bei	19°	50°	62°,5
	6,67	6,47	6,43.

Diese Zahlen sind keineswegs absolut genau, aber ich glaube aus einigen andren Versuchen schließen zu können, daß die Abnahme von ihnen eher zu groß als zu klein angegeben wird, und daß sie beim Weingeist sogar relativ kleiner ist als beim Wasser.

Beim Sieden, wo die Temperatur der Röhre und der Säule Wassers in ihr ebenfalls 100° nahe steht, ist D nur wenig kleiner, als bei 20°. Eine Meinung, die sogar in unseren Tagen zuweilen wiederholt wird, daß die Cohärenz der siedenden Flüssigkeiten $= 0$ sei, ist daher, wie zu erwarten war, gänzlich ohne Grund.

Die Veränderungen von $M:\varrho$ sind nur halb so groß, als die von D, und die Gewichts-Synaphie M, obgleich vergrößert durch die Ausdehnung der Flüssigkeiten durch Wärme, wird auch nicht stärker vermindert als D. Die Variationen der Synaphie, von welchem Standpunkte man sie auch betrachten mag, sind daher von derselben Ordnung, wie die des specifischen Gewichtes, und können, wo diese vernachlässiget werden, ebenfalls unbeachtet bleiben.

Die Synaphie ist also sehr verschieden von der Prosaphie und von den Kräften, welche auf die Bewegung der Flüssigkeiten einwirken. Diese, besonders aber die letzten, ändren sich, wie ich in den folgenden Abschnitten zeigen werde, mit der Temperatur in sehr hohem Grade, indem die Prosaphie beträchtlich vermindert, die Geschwindigkeit aber durch wenige Grade sogar verdoppelt werden kann.

Ob D und M in höheren Temperaturen eine Function von dem specifischen Gewichte und von der Synaphie bei 0^0 sind, muß durch künftige Untersuchungen entschieden werden. Die Frage ist besonders für das Wasser interessant, welches in der Nähe von 0^0 die merkwürdige Anomalie in seinem Gewichte erleidet.

§. 46. Ueber die Veränderung des Gewichts bei Adhäsionsplatten in höheren Temperaturen hat schon Achard Versuche angestellt (Phys. Chem. Schriften p. 359.). Er giebt eine Formel, nach welcher die Abnahme arithmetisch ist und Rechnung und Beobachtungen stimmen bis auf eine verschwindende Differenz mit einander überein. Auf 100^0 berechnet, würde M um nicht weniger als 0,29 seines Werthes bei 0^0 abgenommen haben, und D, das bei $0^0 = 15{,}0$ ist, müßte bei 100^0 nur etwa 8,4 Millimeter betragen. Wer die Uebereinstimmung seiner Versuche mit einer Theorie erwartet, der findet sie gewöhnlich trotz Wage und Maßstab; besonders wenn die Wahl unter mehreren von einander abweichenden Beobachtungen dem eigenen Ermessen überlassen bleibt.

Emmet, der (Phil. Magaz. Annals. I. p. 116.) einige Versuche über die Veränderung, welche die Wärme bei dem Stande in Haarröhren hervorbringt, bekannt gemacht hat, nimmt sie später (eben da p. 332.) zum Theil wieder zurück. Quantitativ genau sind sie nicht, aber sie bestätigen den geringen Werth der Abnahme.

Gayluſſac hat ebenfalls Versuche darüber angestellt, aber das Resultat nicht in Zahlen mitgetheilt; denn der Unterschied der beiden Angaben in der Tabelle rührt größtentheils von unvermeidlichen Beobachtungsfehlern her. Man leitete aus ihnen ab, daß die Veränderung in der Höhe der Capillarität nur von dem specifischen Gewichte abhängig sei. Aber diese theoretische Beziehung ist mir nicht einleuchtend.

Die Synaphie im Verhältniß zu andren Naturkräften.

§. 47. Man kann die Körper nach ihrer Synaphie nach zwei

Gesichtspunkten ordnen, nach M oder nach M: ϱ. Die Capillarität giebt dieselbe Reihe, wie M': ϱ.

Nach ihrer specifischen Synaphie geordnet, zerfallen alle beobachteten Flüssigkeiteu in zwei Hauptklassen und eine Zwischenklasse. Die erste Hauptklasse enthält bloß das Wasser, die zweite sämmtliche wasserfreie Flüssigkeiten. Sie sind streng von einander geschieden. Die Höhe der flüssigen Säule in einer Haarröhre von 1 Millim. Radius ist beim Wasser ungefähr 15,0, bei den wasserfreien Körpern erreicht sie in meinen Versuchen niemals die Hälfte der Höhe; und ich habe ihrer sehr verschiedenartige beobachtet. Die Zwischenklasse enthält die wässrigen Auflösungen. Ihre specifische Synapbie steht zwischen denen der Hauptklassen und ist um so größer, je wasserreicher sie sind.

Gegen diesen Gegensatz von Wasser und Wassermangel verschwinden alle andren Unterschiede zwischen den Flüssigkeiten. Im specifischen Gewichte stehen die wasserfreien Körper zwischen 2,20 und 0,65, ohne daß M: ϱ sehr verschieden wäre. Selbst das Quecksilber, ungeachtet seines Gewichtes von 13,6, steht ihnen nah. Auch chemisch sind diese Körper sehr ungleich; es finden sich unter ihnen Oele, Aether, aber auch Salze, Säuren und Kali, ohne daß man einen Unterschied in der Synaphie wahrnehmen könnte. Bei den wässrigen Auflösungen ist der Wassergehalt entscheidend und alle andren Eigenschaften stehen dagegen zurück. Zucker verhält sich wie ein Salz, und diese, sie mögen metallische Basen oder Säuren haben oder nicht, fast wie Säuren und Alkalien von gleichem Gewichte, d. h. hier von beinahe gleichem Wassergehalte. Bei verschiedenen Auflösungen *eines* Körpers in Wasser nimmt die Synaphie mit der Concentration so regelmäßig zu, daß

$$M: \varrho = A\,(\varrho - 1).$$

wo A eine von der Natur des festen Bestandtheils abhängige Constante ist, die Beobachtungen sehr genau wiedergiebt. Die Uebereinstimmung würde noch vollständiger sein und die Constante selbst von der Beschaffenheit der festen Körper fast unabhängig, wenn man an die Stelle des specifischen Gewichtes die Wassermenge in einem Volumen der Flüssigkeit in das zweite Glied der Gleichung setzte. Nur beim Weingeist und bei der Essigsäure weichen meine Beobachtungen von dieser Regel bedeutend ab, ein Beweis, daß sie auch für die übrigen Flüssigkeiten keine vollständige Gültigkeit haben

kann. Um aber den überwiegenden Einfluß des Wassers aus den Auflösungen zu eliminiren und den Theil der Synaphie, der dem wasserfreien Körper zukäme, zu berechnen, müßten die Beobachtungen noch zahlreicher und genauer sein.

Nach den vorhandenen Angaben ist das Wasser durch eine weite Kluft von allen übrigen Körpern geschieden. Ob diese Lücke durch eine vollständigere Untersuchung ausgefüllt werden kann, muß dahin gestellt bleiben. Ich halte es für wahrscheinlich, und möchte daher vor allen allgemeinen Theorien warnen, welche auf der überwiegenden Synaphie des Wassers beruhen. Bis jetzt hat man immer noch geirrt, wenn man einzelne Stoffe, wie Sauerstoff, Wasser, Kohle, Schwefel, als Substrate einer Thätigkeit in den Körpern ansah.

§. 48. Da $M:\varrho$ von dem specifischen Gewichte unabhängig ist, so muß M bei dem schwereren Körper im Durchschnitte größer sein. Die wässrigen Auflösungen, deren einer Bestandtheil schwerer ist als Wasser, rücken dadurch dem Wasser näher. Weingeist und wasserhaltige Oele entfernen sich von ihm. Aber sonst zeigt sich keine Regelmäßigkeit in der Reihe der Körper nach der Gewichtssynaphie. Zwei wässrige Flüssigkeiten zusammengegossen, haben zuweilen Synaphieen, die größer sind wie die der Bestandtheile, z. B. bei der Schwefelsäure, der Salpetersäure, der Salzsäure, dem Aetzkali und wahrscheinlich auch bei den Salzen. Nelkenöl wird von den andren Oelen, Ammoniak von den Alkalien getreunt. M ist offenbar eine weniger unmittelbare Function der Cohäsion als $M:\varrho$ und eine Formel wird daher besser auf diese als auf jene Werthe gegründet.

§. 49. Zwischen Synaphie und Compressibilität sollte man eine nahe Beziehung erwarten. Sie bezeichnen, wie man glauben sollte, verschiedene Phasen derselben inneren Kraft. Eine Vergleichung der in beiden Tabellen vorkommenden Körper (Siehe Elasticität der Flüssigen § 7. und Cohärenz der Flüssigen §. 40.) giebt für das Verhältniß P:M für Wasser 1,10, für die meisten andren Flüssigkeiten wenig davon abweichende Werthe. Aber Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, Essigsäure haben dafür 1,30, 1,44, 1,73 und 1,81. Vielleicht würde sich, wenn die Synaphie von mehreren Körpern bekannt wäre, die Art der Verbindung deutlicher zeigen.

§. 50. Die Meinung, daß Wärme und Cohäsion einen Gegensatz bilden, wird durch die Beobachtungen über die Hydrosynaphie nicht bestätigt. Oele, Aether, Salze und Säuren von sehr verschiedenen Sied- und Frierpuncten steigen fast gleich hoch in Haarröhren auf. Auch zwischen den Veränderungen, welche das Volumen einer Flüssigkeit durch die Wärme erleidet, und der Synaphie läßt sich keine Verbindung nachweisen, obgleich sich das Wasser auch hier durch seine in gewöhnlicher Temperatur sehr geringe Ausdehnbarkeit vor allen Körpern auszeichnet. Dieses Phänomen ist überhaupt, wie sein anomaler Gang bei mehreren Körpern, und besonders beim Wasser, zeigt, aus dem Conflict mehrerer nach verschiedenen Gesetzen wirkenden Kräfte hervorgegangen. Die Synaphie und die Compressibilität werden zwar eine Rolle dabei spielen, aber diese zu bestimmen, reichen die wenigen genauen Versuche, die wir von Gayluſſac und Muncke haben, nicht hin (Annales Chim. Phys. 1816. II. p. 130 und Baumgartner Zeitschr. 1831. X. p. 366 aus Mem. pres. à l'Acad. de Petersb. I.

§. 51. Bei dieser Trennung von Wärme und Cohäsion ist die Analogie, die sich zwischen der Synaphie und der Lichtbrechung zu zeigen scheint, um so merkwürdiger. Die Brechung des Lichtes in Flüssigkeiten ist, wenn man nur annähernde Werthe sucht, auf mehrfache Weise leicht zu beobachten Ein Tropfen, den man zwischen ein Planglas und das Oblectivglas eines Mikroscopes bringt, reicht dazu schon hin. Wir kennen daher die Brechungsverhältnisse vieler Flüssigkeiten, besonders der Oele, sehr genau. Wässrige und weingeistige Lösungen, welche kein praktisches Interesse für die Optik darboten, hat man jedoch wenig untersucht, und da auch hier das specifische Gewicht entweder nicht angegeben ist, oder sich während des Versuchs verändert haben kann, so ist die Mehrzahl der Beobachtungen für eine Vergleichung mit der Synaphie von geringem Werthe.

Ich habe in der folgenden Tabelle die besten Angaben für die Brechung des Lichtes mit meinen Beobachtungen für die Synaphie zusammengestellt. Die Rubrik M:ϱ bezieht sich auf die Tabelle des §. 40. Das Verhältniß der Sinus bei der Lichtbrechung ist n und daraus $nn-1$ berechnet. Die letzte Rubrik $M\frac{nn-1}{\varrho}$ ist das Product beider Zahlen. Die Werthe von n sind größten-

theils nach Brewster bestimmt [1]). Einige sind nach Euler, Wollaston, Barlow (der Schwefelkohlenstoff) und Marx.

Stoff.	$nn-1$	$M:\varrho$	$M\frac{nn-1}{\varrho}$
Wasser	0,784	537	421
Schwefelsäure [2])	1,084	359	389
Salpetersäure	0,988	417	444
Salzsäure	893	483	455
Kohlensaures Kali	937	477	447
Kochsalzwasser [3])	804	513	414
Terpentinöl	1,185	355	421
Nelkenöl	247	360	449
Mandelöl	196	373	446
Lavendelöl	175	359	422
Weingeist	0,882	335	295
Aether	883	318	282
Schwefelkohlenstoff	1,706	330	563

§. 52. Das Wasser steht an der Spitze beider Reihen. Säuren, Salze, organische Flüssigkeiten folgen darauf, ohne daß man einen Zusammenhang zwischen den chemischen Eigenschaften und dem Lichte bemerkte. Einige alkalische und salinische Auflösungen, die ich nicht mit aufgenommen habe, weil ihr specifisches Gewicht gar zu unbestimmt war, oder weil ihre Synaphie unbekannt ist, nehmen dieselbe Stellung in der Tabelle ein, wie die Säuren von gleichem Gewichte. Die steigende Reihefolge nach der Lichtbrechung ist daher in ihren Hauptzügen identisch mit der abnehmenden nach der Syn-

1) Eine sehr ausgedehnte Tabelle über die Lichtbrechung steht in der deutschen Ausgabe von Herschels Werke über das Licht. Sie ist aber, gewiß nicht von Herschel selbst, ganz unkritisch compilirt und enthält in der Uebersetzung so grobe Mißverständnisse, daß sie für den Laien kaum zu gebrauchen ist.

2) 359 ist wahrscheinlich zu klein. War überdieses die Säure, deren Lichtbrechung man untersuchte, nicht mehr ganz concentrirt, so mußte ihr eine höhere Synaphie entsprechen und die Zahl der letzten Rubrik größer werden.

3) Wenn die Lösung bei Brewster nicht so gesättigt war wie in meiner Beobachtung, so werden $M:\varrho$ und das Product etwas größer.

naphie. Auch die Metalle, welche, nach einigen ihrer durchsichtigen Verbindungen und nach ihrer Reflexion zu schließen, das Licht sehr stark brechen, nehmen in der specifischen Synaphie eine sehr niedrige Stellung ein. Die Zahlen der letzten Columne zeigen einen bedeutenden Grad von Uebereinstimmung. Die drei letzten ausgenommen, weichen sie sämmtlich nur innerhalb der Beobachtungsfehler von einander ab, und ihre Anzahl könnte durch viele Oele und Salze vermehrt werden, bei denen $M\frac{nn-1}{\varrho}$ dieselbe Größe hat. Selbst unter den 3 letzten, die entscheidend von dem Wasser abweichen, steht der Schwefelkohlenstoff genau so viel höher als das Wasser, als der Aether und der Weingeist darunter.

Wie man bei dem specifischen Gewichte annimmt, daß ein Körper, er mag fest oder flüssig sein, und bei der Lichtbrechung sogar, wenn er in Gasform ist, dasselbe specifische Gewicht und dieselbe Brechungskraft habe, nur mit einer gegen das Ganze gewöhnlich unbedeutenden Correction; so dürfte man auch hier annehmen, daß der Werth von $M\frac{nn-1}{\varrho}$ bei allen Körpern constant sei, bis auf eine noch zu untersuchende Correction, welche, so viel man weiß, nur bei den genannten und vielleicht einigen andren ätherischen Flüssigkeiten eine bedeutende Größe erreicht. Es kann daher wenn nicht als Gesetz, doch als Regel gelten:

daß das Licht um so stärker gebrochen werde, je kleiner die Synaphie ist.

§. 53. Unter den bisher untersuchten Körpern hat Wasser die größte Synaphie. Bei dem Lichte hat man jedoch einige Körper gefunden, welche ihm in der Reihe vorangehen, nämlich Kohlensäure, Chlor, Cyan, wenn sie liquid geworden sind. Einige andere Körper stehen dem Wasser gleich oder nahe und die große Kluft, welche in der Synaphie das Wasser von den untersuchten wasserfreien Körpern trennte, ist in der Brechungskraft ausgefüllt. Bei dem Lichte scheint Sauerstoff an der Spitze der Reihe zu stehen. Dem Sauerstoffe in seinen elektronegativen Eigenschaften nahe Stoffe, denen ich noch, nach den Körpern in denen es einen Hauptbestandtheil bildet, das Fluor beifügen kann, scheinen auf ihn zu folgen und das Wasser seine niedrige Brechungskraft nur dem sehr starken Sauerstoffgehalte zu verdanken, welcher den entgegen-

gesetzten Einfluß des Wasserstoffes überragt. Wollte man dieses auf die Synaphie übertragen, so würde man diesen wichtigen Theil der Cohäsion mit den galvanischen Kräften der Körper verbinden; man könnte den Sauerstoff als den Körper ansehen, der von allen die stärkste Synaphie zu erzeugen strebte, und den Wasserstoff und die Metalle als solche, welche das Licht am meisten aus seiner Bahn lenken, aber in ihrer specifischen Synaphie am kleinsten wären. Es ist ein reiches Material für ein hypothetisches Gebäude vorhanden, aber es fehlt ihm noch das Fundament, so lange jene Uebereinstimmung oder, wenn man will, jener Gegensatz von Licht und Synaphie nicht besser erwiesen ist, als ich es bis jetzt vermochte. Genaue und parallele Versuche über Lichtbrechung und Synaphie bei wenigen, gut gewählten Körpern reichen zu dieser für die Physik so wichtigen Entscheidung vielleicht schon hin.

II. Veränderungen in der Lage eines Flüssigen, welches einen festen Körper benetzt.

Enge Kanäle.

§. 54. In dem vorhergehenden Abschnitte habe ich aus den zu einer genauen Messung geeigneten Cohärenzerscheinungen die Synaphie der flüssigen Körper zu bestimmen gesucht. Die Adhäsion an benetzten Körpern zeigt sich aber auf sehr mannigfaltige Weisen, von denen einige näher betrachtet zu werden verdienen.

Die Höhe, welche eine Flüssigkeit in einem benetzbaren, von sehr feinen Kanälen durchzogenen Körper erreichen kann, ist unbegrenzt. Nur die Schnelligkeit des Ansteigens wird in engen Röhren so vermindert, daß das Maximum erst nach Tagen und Wochen erreicht wird. Hook und Musschenbroek sahen das Wasser in Haarröhrchen 550 — 580 Millimeter hoch und Hauksbee in gesiebter und fest gedrückter Asche in einer bis zwei Wochen 800—1000 Millimeter über das Niveau steigen.

Ist die Haarröhre kürzer als die Höhe, welche die Flüssigkeit in einer längern Röhre von gleicher Weite erreichen würde, so wird diese bis an das obere Ende der Röhre steigen, aber niemals über die Röhre hinausgehen. Wenn daher Wasser durch Erdschichten dringt, so kann es sie zwar bis an die Oberfläche durchziehen, aber

über diese hinaus geht das Wasser nur dann, wenn sein Spiegel höher steht, als die obere Fläche der Erdschicht.

Wird Wasser in eine heberförmige Röhre gegossen, wo ein Arm weit, der andre kurz und eng ist, so stellt es sich um die Capillaritätshöhe = d über das Niveau in dem weiten Schenkel und endigt sich in einer der Halbkugel ähnlichen concaven Fläche. Gießt man so viel Wasser nach, daß das Niveau im weiten Arme weniger als um die Größe d unter der obern Oeffnung des engen steht, so steigt das Wasser bis an die Mündung der engen Röhre und endigt in einer concaven Fläche, die flacher ist, als die Halbkugel, und wo die Concavität von der Differenz der Niveau's abhängt. Ist das Niveau in dem weiten Arme in der Ebene der engen Oeffnung selbst, so steht die Flüssigkeit in beiden gleich hoch und endigt sich an dem Ende des engen Schenkels in einer ebenen Fläche. Steigt das Wasser im weiten Schenkel, so wird die Oberfläche in dem engen immer convexer und endlich fast zur Halbkugel, wenn das Niveau in dem weiten Arme um die Größe d über der Oeffnung des engen Schenkels steht. Bei noch größeren Zuflüssen breitet sich das Wasser über den Rand der Röhre aus. Die Theorie dieser Erscheinungen ist von Laplace entwickelt, und bestätigende Beobachtungen sind von mehreren andren angestellt.

§. 55. Wenn ein Gefäß, das sich unten in einer engen Röhre endigt, mit Wasser gefüllt und mit der Oeffnung der Röhre an eine Wasserfläche gebracht wird, so fließt aus dem Gefäße alles Wasser aus und nur die Röhre bleibt, je nach ihrer Länge, mehr oder weniger gefüllt. Ist sie aber nicht mit Wasser in Berührung, so wird dieses bei stärkerem Drucke in einem Stral, bei schwächerem in Tropfen abfallen, deren Basis bei gewöhnlichen Röhren stets der äußere Umfang der Röhre ist. Hat sich aber der Druck bis auf eine gewisse Größe vermindet, so fällt der Tropfen nicht mehr ab, sondern hält eine Wassersäule von einer gewissen Höhe im Gefäße zurück. Wie bei Haarröhren, die in Wasser tauchen, die Höhe der flüssigen Säule nur von der Weite des obern Randes abhängt und z. B. 15 Millimeter hoch ist, sobald sie sich in einem Kreise von 1 Millimeter Radius endigt, wenn die Röhre auch unterhalb in ein weites Gefäß ausgeht, eben so ist es bei dem unten in einer Röhre sich endigenden Gefäße. Zwischen der Höhe der Wassersäule, die zurückgehalten wird, oder einem ihr entsprechenden Drucke, und

der Krümmung des Tropfens, der sich an der untern Fläche bildet, findet ein gewisses Gleichgewicht statt, das unabhängig ist von der Weite des Gefäßes und selbst von dem Caliber der Röhre. Auch die Anzahl dieser Röhren ist ohne Einfluß; sie kann sogar so groß sein, daß die Summe ihrer innern Querschnitte dem Querschnitte des Gefäßes wenig nachsteht.

Wenn die Haarröhren in großer Anzahl sind, und nicht isolirt aus dem Boden hervorragen, sondern sich in eine Fläche endigen, die benetzbar ist, so vereinigen sich die Tropfen und fallen ab. Daher wird das Wasser nicht zurückgehalten von porosem Gyps, organischen Häuten u. dergl., obgleich die einzelnen Kanäle eng genug sind, um einer hohen Wassersäule den Ausgang zu verwehren. Nicht benetzbare Flächen dagegen halten das Wasser selbst unter beträchtlichem Drucke zurück. So begießen die Matrosen ihre fettigen Segel mit Wasser und schließen dadurch die Maschen so fest, daß selbst eine stark bewegte Luft die Tropfen nicht verdrängen kann.

Tropfen.

§. 56. Wasser, welches der untern Fläche eines benetzbaren Körpers zufließt, sammelt sich in Tropfen, deren Gestalt ziemlich verwickelt ist, aber wenn die Oberfläche selbst eben oder sphärisch ist, sie in einem Kreise berührt und durch Drehung einer Curve um eine auf der Fläche senkrecht stehende Linie erzeugt ist. So lange das Gewicht des Tropfens eine gewisse Grenze nicht überschreitet, bleibt er hängen; bei einer Größe aber, welche von der Beschaffenheit des Flüssigen und der Gestalt des festen Körpers, so weit ihn der Tropfen berührt, abhängt, fällt er ab. Die Beschaffenheit des festen Körpers ist, wenn er nur benetzt ist, wie bei allen Erscheinungen der Synaphie ohne Einfluß, auch fällt der Tropfen niemals ganz ab, sondern es bleibt noch eine Schicht von merklicher Dicke zurück. Wenn die Gestalt der Fläche eben oder ein Kugelstück von bekanntem Halbmesser ist, so muß die Größe des Tropfens von der Synaphie der Flüssigkeit abhängen und aus ihr berechnet werden können.

§. 57. Zuerst hat sich Segner (Comm. Gotting. 1752. I. p. 301.) mit der Größe der Tropfen mathematisch beschäftigt, später haben Young, Laplace und Poisson in ihren oben angeführten

Werken die Tropfen in Verbindung mit den andren Synaphie-Phänomenen behandelt. Auch einige Beobachtungen sind angestellt worden, aber in sehr geringer Anzahl, obgleich die Größe der Tropfen ein praktisches Interesse für die Pharmacie hat. Aber selbst die genauen Versuche von Gaylussac stimmen mit der Theorie nicht überein. Diese hat also einen Umstand übersehen.

Young Phil. Transact. 1805. ließ Tropfen Wasser und Weingeist von Kugeln herabfallen.

Link Gilb. Annal. XLVII. p. 17. Tropfen von Wasser, Schwefelsäure, Mandelöl und schwefelsaurem Kupfer fielen von einem Glasstabe herab. Ein Tropfen Wasser wiegt nach ihm etwa 1 Gran.

Reichenbach hat von einigen der von ihm entdeckten Körper, auch die Größe der Tropfen beobachtet; aber die Methode nicht angegeben.

Gaylussac in der Abhandlung von Poisson, p. 125. Tropfen Wasser und Weingeist fielen von einer Röhre von 3 Millim. äußeren Durchmessers herab.

§. 58. Ich habe auch mit Tropfen eine große Menge von Versuchen angestellt, aber da ich erst vor Kurzem auf eine mir genügende Methode gelangt bin, so konnte ich noch nicht alle Umstände und eine größere Anzahl von Körpern untersuchen und werde mich daher hier auf einige aus Beobachtungen am Wasser, Weingeist und zuweilen auch am Kochsalz abgeleitete Resultate beschränken.

Die Größe und das Gewicht der Tropfen habe ich anfangs bestimmt, indem ich sie in einem Gefäße von bekanntem Volumen auffing, bis es gefüllt war. Späterhin wog ich sie. 10—20 Tropfen reichten schon für annäherende Werthe hin, und die Anzahl der Milligramme, die ein Tropfen wog, giebt beim Wasser unmittelbar sein Volumen in Millimetern. Bei andren Flüssigkeiten mußte sie mit dem von mir immer ebenfalls beobachteten specifischen Gewichte dividirt werden.

Meine Apparate waren Röhren, Pipetten, Retorten von verschiedener Größe, an denen ich das Flüssige herabgleiten ließ, porose Zeuge, welche um einen durchlöcherten Metallboden gebunden waren und endlich ein Glasgefäß, in dessen ziemlich dickem Boden ein feines Loch gebohrt war. Das letzte gab mir endlich die gewünschte Sicherheit. Ich konnte die Schnelligkeit des Abtröpfelns durch die Höhe der Flüssigkeit im Gefäße reguliren; ich konnte jeden Körper darin beobachten, und die Resultate wurden con-

stant, sobald nur der Boden äußerlich benetzt war. In diesem Falle fiel der Tropfen an der Oeffnung nicht leichter oder schwerer herab, als an jedem andren Orte der Fläche. Er suchte immer den tiefsten Punct auf, und es ist daher zweckmäßig, den Boden nach einer schwachen sphärischen Krümmung zu schleifen, da der Tropfen, eben so empfindlich wie in einer Libelle, bei einer ebenen Fläche gewöhnlich dem Rande zufließt.

§. 59. Auf die Größe des Tropfens wirken folgende vier Umstände ein:

1. Die Gestalt und Größe der Fläche.
2. Die Schnelligkeit des Zuflusses.
3. Die Synaphie.
4. Die Temperatur.

§. 60. Die Basis des Tropfens ist am größten auf einer ebenen Fläche von einer Ausdehnung, welche die eines Tropfens überschreitet, d. h. von einem Centimeter und darüber Durchmesser. Bei kleinern Flächen ist das Gewicht des Tropfens kleiner, vielleicht in einem den Kuben der Durchmesser nahen Verhältnisse. Daher sind Pipetten und dergl. unbrauchbar zur Erlangung normaler Tropfen. In der Kleinheit der Tropfen scheint bis zu dem mikroskopischen hinab, keine Grenze statt zu finden.

Eine Krümmung der Fläche vermindert die Größe des Wassertropfens. Eine sphärische Fläche von 20—30 Millimeter Radius gab merklich kleinere Tropfen, als die Ebene, und ich kann nicht behaupten, daß bei Krümmungen von 50 Millim. der Unterschied schon ganz unmerklich geworden sei.

Bei Flüssigkeiten, deren Tropfen kleiner sind als Wasser, kann man die Größe der Fläche und ihre Krümmung kleiner nehmen.

Man muß vor dem Beginn des Versuchs die Fläche, welche als Basis dienen soll, benetzen; sonst sind die Tropfen zu klein. Sie können viele Minuten lang abfließen, ohne ihre Basis durch Benetzung der benachbarten Stellen zu erweitern. Eine Spur von Fettigkeit bringt dieselbe Wirkung hervor. Indessen kann man diese weit leichter entfernen als bei Haarröhren.

§. 61. Durch Beschleunigung des Abflusses wird das Gewicht der Tropfen vermehrt. Dieses ist paradox, aber ganz constant. Ich will als Beispiel einen Versuch bei Wasser und einen andren bei Weingeist von 0,846 und Temperaturen von etwa 20° mittheilen.

Das Volumen eines Tropfens ist bei der langsamsten Bewegung = 1 gesetzt. Die andre Rubrik enthält das mittlere Intervall zweier Tropfen in Secunden.

Wasser.		Weingeist.	
Zeit.	Größe.	Zeit.	Größe.
3,76	1,00	1,67	1,00
2,28	06	1,35	01
1,78	09	0,65	14
1,55	17	0,40	21
1,11	30	0,39	63
0,94	40	0,37	76
0,85	44		
0,79	55		

In keinem von beiden Beispielen waren die Grenzen erreicht, die ich in andren Versuchen hervorzubringen suchte, indem ich einerseits die Tropfen maß, welche sich zeigten, wenn die Flüssigkeit eben aufhörte, in einem stetigen Stral auszulaufen, andrerseits, indem das Intervall zwischen zwei Tropfen eine halbe Minute und darüber betrug. Das Wasser ist seinem Minimum ziemlich nah, von seinem Maximum aber weit entfernt, da die Zunahmen der Größe für gleiche Zeit-Intervalle bei schnellem Abflusse am größten sind. Es ist merkwürdig, daß die größten und kleinsten Tropfen, welche ich durch Abänderung der Geschwindigkeit erlangen konnte, fast immer ziemlich nah in dem Verhältnisse von 1,8 — 1,9 standen.

Den Tropfen, welcher sich bei sehr langsamem Zusluſſe an einer Ebene bildet, will ich den Normaltropfen nennen.

Die Größe der Tropfen hat sogar bei Intervallen von 10—20 Secunden zuweilen noch zugenommen.

Bei sehr langsamem Abflusse nahm ich in der Regel eine beschleunigte Abnahme in der Größe der Tropfen war, die sich ganz unregelmäßig verhielt und zuweilen ganz fehlte. Sie rührt her von der Austrocknung der Fläche in der Nähe des Tropfens, wodurch seine Basis verengt wird. Hält man den Boden immer benetzt, so nimmt die Größe des Tropfens stetig ab und in einem kleinern Verhältnisse als die Geschwindigkeit.

§. 62. Die Ursache dieser Vergrößerung des Tropfens durch Zufluß ist folgende: Wenn kein Theil des Tropfens eine merkliche

Bewegung hat, so sammelt sich das Wasser an dem niedrigsten Puncte der Fläche, der bei ebenem Boden schon durch ein Staubtheilchen bestimmt werden kann, formt sich dem Gesetze der Synaphie gemäß, und wenn sein ganzes Gewicht der auf die Basis reducirten Adhäsion gleich ist, so bildet sich wie bei der Adhäsionsplatte ein concaver Rand, der sich verengt, bis der Tropfen abreißt und niederfällt. Zwischen dem Beginn dieser Bildung bei dem schon reifen Tropfen und dem gänzlichen Losreißen verfließt einige Zeit. Kommt nun Flüssigkeit von der Seite hinzu, so fließt diese an dem Tropfen durch ihre Schwere herab und vergrößert ihn um so mehr, je länger die Zeit während des Losreißens und je schneller der Zufluß ist.

Bei gewölbtem Boden ist die Erscheinung complicirter; denn zu dem, was bei der Ebene statt findet, tritt noch das Moment der Bewegung der Wassertheilchen, das sie durch Herabgleiten längs der krummen Fläche erlangen. Die Theilchen reißen sich daher nicht nur durch ihre Schwere los, sondern auch durch die von der Schwere stammende, aber jetzt nur wie ein Stoß wirkende Bewegung.

§. 63. Was die relativen Größen der normalen Tropfen verschiedener Flüssigkeiten betrifft, so ist es bekannt, daß Weingeist, Aether u. s. w. kleinere Tropfen geben als Wasser. Bei Weingeist und Wasser sind die Volumina der langsam abfließenden Tropfen fast den Capillarhöhen proportional. In wie fern sich dieses bei andren Flüssigkeiten bestätiget, werden künftige Versuche zeigen. Sollte es gelingen, die Theorie der Tropfen vollständig auf die übrigen Synaphie-Erscheinungen zurückzuführen, so besäße man in ihnen die zuverlässigste und leichteste Methode, die Synaphie bei den verschiedensten Körpern und Temperaturen, selbst der höchsten, zu bestimmen.

§. 64. Die Temperatur endlich hat einen sehr merklichen Einfluß auf die Größe der Tropfen. Da Körper mit geringerer Synaphie kleinere Tropfen haben, so müßten die Tropfen warmer Flüssigkeiten kleiner sein. Die Beobachtung giebt folgende Resultate:

Die Wärme macht den Tropfen kleiner, und zwar in einem weit größern Verhältnisse, als man nach den Veränderungen der Synaphie erwarten sollte. Bei 40° fand ich den Tropfen zuweilen nur 0,8 — 0,9 so groß als bei 20° C. Aber diese Wirkung ist sehr abhängig von der Geschwindigkeit des Abflusses. Ist dieser sehr langsam, so ist

sie unbedeutend; sie nimmt zu, je größer die Geschwindigkeit desselben und der Umfang des Tropfens wird. Die Wärme bringt also die Tropfen den Normalgrößen näher.

Die Ursache liegt vermuthlich in ihrem später zu betrachtenden Einflusse auf bewegte Flüssigkeiten. Jede Bewegung, die von einer Verschiebung der Theile auf einander abhängt, wird durch die Wärme beschleunigt, daher auch die Zeit, in welcher der reife Tropfen sich ablöst, verkürzt. Strömt nun auch die Flüssigkeit mit etwas größerer Geschwindigkeit hinzu, so ist doch dieser Gewinn gering gegen den Verlust, welchen der Tropfen erleidet, indem die benachbarten Theilchen nicht Zeit haben, sich in der Menge wie früher mit ihm zu vereinigen.

§. 65. Die genaue Bestimmung der Normaltropfen unter verschiedenen Umständen hat ein praktisches Interesse für die Pharmacie. Die geltenden Regeln für die Größe der Tropfen sind äußerst ungenau. Man nimmt für Wasser das Gewicht eines Tropfens zu einem Gran an, aber ich habe oft über 240 Milligramm d. h. 4 Gran gefunden. Wenn es auf keine wissenschaftliche Genauigkeit ankommt, so kann man statt der gewöhnlichen Tropfröhren ein oben weites Gefäß, das unten sich in einer Haarröhre mit sehr dicken Wänden, etwa 1 Centimeter im Durchmesser endigt, anwenden und die Flüssigkeit in Intervallen von 4 Secunden abfallen lassen, was man durch die Höhe der flüssigen Säulen oder die Länge der Röhren leicht reguliren kann. Bei kleinen Quantitäten ist die Genauigkeit so groß, als man sie bei Messungen an der Wage erlangt und weit bequemer. Greifen die Flüssigkeiten Messing oder die Kitte nicht an, so kann man den Apparat noch einfacher einrichten.

Für die Synaphie hat aber eine genaue Bestimmung der Tropfen ein noch höheres Interesse. Denn ist es gelungen, die Größen der Normaltropfen auf die übrigen Synaphie-Phänomene zu reduciren, so besitzen wir in den Tropfen das leichteste und genaueste Maß, um die Synaphie zu messen.

Adhäsion von festen Körpern, die durch eine Schicht Flüssigkeit von einander getrennt sind.

§. 66. Zwei auf Wasser schwimmende, benetzte Körper ziehen sich an. Staubtheilchen, Luftblasen vereinigen sich daher gern auf der Mitte

des Wassers und bilden durch Anziehung der zwischen ihnen angestiegenen Wassertheilchen eine Masse, die sich als Ganzes bewegt und nicht ohne Gewalt trennen läßt.

Ein andrer Theil der schwimmenden Körper zieht sich an die Wand, oder an jeden andren Ort der Oberfläche, der entweder durch Adhäsion an einen festen Körper oder durch Wellenbildung über das Niveau erhoben ist. Das zwischen Mitte und Rand befindliche Stück der Fläche bleibt daher von fremden Körpern frei.

Diese Erscheinungen haben schon Montanari, Borelli, Mariotte u. A. beobachtet, Monge (Memoires de l'Acad. 1787. p. 506.) genauer untersucht und Young, Laplace und Poisson ihre mathematischen Gesetze angegeben.

§. 67. Wenn die schwimmenden Körper nicht Kugeln oder Luftblasen sind, so wird die Stabilität ihres Gleichgewichtes abhängig sein von den Seiten, die sie einander zuwenden. Dieses kommt besonders in Betracht bei kleinen, in einer Flüssigkeit schwebenden Krystallen.

Sind es Tropfen von einer andren Flüssigkeit, die auf dem Wasser schwimmen, so werden sie sich ebenfalls einander und den Wänden nähern. Aber auch ihre Gestalt wird verändert, indem sie die Anhöhe, welche des Wasser an der Wand gebildet hat, ansteigen. Dieses zeigt sich am besten in Oelen, die auf Wasser gebracht sind, wobei die Bewegungen noch mannigfaltiger werden durch die Veränderungen, welche die Oele an der Luft erleiden. Fusinieri hat darüber recht interessante Beobachtungen angestellt (Brugnatelli Giornale 1821. an mehreren Stellen und ausführlich wiederholt in den Annali delle Scienze, Padua 1833. III. p. 26.

§. 68. Zwei Platten, zwischen denen sich eine benetzende Flüssigkeit befindet, hängen, wie zuerst Boyle (Experim. de vi aëris elastica 1669. p. 200.) und Montanari beobachtet haben, mit großer Kraft an einander. Musschenbroek, Morveau (Theoretische und praktische Principien der Affinität. Uebers. 1794.), Link und Ruhland (Schweigg. Journ. 1814. XI. p. 146.) haben die Kraft gemessen, aber nicht mit hinlänglicher Genauigkeit. Dutour u. A. haben gefunden, daß bei engen Gefäßen die zum Abreißen der Adhäsionsplatte nöthige Kraft größer ist, als bei weiten (Siehe oben §. 23.). Young und Poisson haben die Kraft berechnet, welche nöthig ist, um zwei durch eine Schicht Flüssigkeit verbundene Platten von einander zu trennen. Sie

nimmt stets zu, wenn ihre Entfernung abnimmt. Bei Platten, deren Durchmesser gegen die Dicke der Wasserschicht sehr groß ist, ist die Kraft, welche die Platten von einander reißen kann, gleich dem Drucke einer Säule von der zwischen ihnen befindlichen Flüssigkeit, deren Basis die Platten selbst sind und deren Höhen gleich der Höhe, den die Flüssigkeit zwischen den Platten, wenn sie senkrecht stünden, über dem Niveau erreichen würde.

Also bei Platten, welche durch eine Wasserschicht von 1 Millimeter Dicke von einander getrennt sind, ist der Druck einer Wassersäule von 15 Millimeter Höhe gleich, und bei 0,1 Millimeter Abstande von 150 Millimeter Höhe. Sobald man die Platte in das Wasser ganz eintaucht, hört alle Anziehung auf. Airy (Pogg. Annal.. 1833. XXVIII. p. 82.) hatte zu optischen Versuchen ein Prisma auf eine Linse gelegt und zwischen beide eine Wasserschicht gebracht. Nach ein paar Tagen war es unmöglich, die Gläser von einander zu trennen, ohne sie zu zerbrechen. In Wasser gelegt fielen sie aus einander.

Die Adhäsion, welche eine sehr dünne Schicht Flüssigkeit hervorbringt, wird noch vermehrt durch die Prosaphie des Flüssigen zum festen Körper und zuweilen vielleicht auch durch die Cohärenz der festen gegen einander, indem sich bei großer Annäherung die hervorragenden Theile beider Platten berühren. Die tiefern Theile der selbst bei der höchsten Politur rauhen Flächen sind frei von Luft und mit der Flüssigkeit gefüllt. Es ist daher möglich, daß die Cohärenz der Flüssigen oder die Adhäsion zwischen den Flüssigen und Festen in den engen Räumen durch Ursachen gesteigert werden, die den unten bei dem Queckſilber beschriebenen, ähnlich sind.

§. 69. Von zwei ebenen und einander parallelen Platten, zwischen denen eine flüssige Schicht ist, sei die obere befestigt, die untere aber werde durch ein Gewicht herabgezogen: so stellt sich ein gewisses Gleichgewicht her zwischen der Dicke der Wasserschicht oder der Entfernung beider Platten und dem Gewichte. Je größer das Gewicht, desto größer wird die Entfernung der Platte und desto concaver der Rand der Flüssigkeit, bis, wenn eine gewisse Dicke überschritten ist, die untere Platte abreißt. Die Wasserschicht hat daher einige Aehnlichkeit mit einem elastischen Körper, dessen Länge von der Belastung abhängig ist. Je kleiner die Platten sind, je größer also das Volum des gewölbten Theiles gegen die

ganze flüssige Schicht, desto bedeutender sind die Veränderungen, welche der Abstand der Platten von einander durch eine Veränderung des Gewichtes erleiden kann.

Die Dicke der Schicht sei ein Millimeter. An die untere Platte komme wieder eine Schicht von gleicher Dicke mit einer dritten Platte; an diese wiederum eine Wasserschicht u. s. f., so kann man diese Abwechselung so lange fortsetzen, als die Summe sämmtlicher Platten, die erste ausgenommen und alle Wasserschichten an Gewicht eine Wassersäule von 15 Millimeter Höhe nicht übertrifft. Sind die Wasserschichten nur 0,1 Millimeter dick, so kann man die Belastung bis auf 150 Millimeter Wasserdruck treiben. Es ist daher möglich, eine hohe aus wechselnden Schichten eines Flüssigen und Festen bestehende Säule zu construiren, deren Länge mit der Belastung steigt und fällt, die bei Ueberschreitung einer gewissen Länge zerreißt, durch Verlängerung sich in dem Querschnitte zusammenzieht, sich also fast ganz, wie ein fester elastischer Körper verhält. Jedoch findet der Unterschied statt, daß das Volumen bei festen Körpern durch die Spannung vergrößert wird, bei jener aus Schichten bestehenden Säule aber keine merkliche Veränderung erleidet.

Halbflüssige Fäden und Membranen.

§. 70. Eine solche Abwechselung von festen und flüssigen Schichten findet sich in den Fäden und Membranen, die man aus flüssigen Stoffen, denen einige feste Theile beigemengt sind, bilden kann. Die Umstände sind freilich etwas verschieden von denen des vorhergehenden Paragraphen. Die Durchmesser der festen Körper sind gewöhnlich sehr klein, oft noch nicht einmal mikroskopisch. Die flüssige Schicht zwischen ihnen folgt ganz andren Gesetzen, als da wo ihre Dicke unbedeutend gegen ihren Durchmesser ist. Diese Gesetze sind auch noch nicht berechnet; aber von dem Quantitativen abgesehen, finden sich bei sehr kleinen Körpern dieselben Phänomene vor, wie bei den größeren und zwar in größerem Maßstabe. Die Spannbarkeit einer langen halbflüssigen Säule ist weit größer bei kleinem als bei großem Querschnitte. Sich selbst überlassen, ohne eine äussere Kraft, als etwa die ihres eigenen Gewichtes, ziehen sie sich in sehr kurze Räume, fast in Tropfen zusammen; dagegen werden bei einer der größten Belastung, die sie tragen können, nahe kommen-

den Zugkraft die Querdimensionen beinahe unmerklich gegen die Länge.

§. 71. Bei den Membranen liegen die festen Theile in einer ebenen, mehr oder minder gekrümmten Fläche und dienen dem Flüssigen als Stützpunkte. Man hat sie meistens als Seifenblasen beobachtet, wobei sie die newtonischen Farben auf eine sehr schöne Weise zeigen. Newton selbst betrachtet diese Blasenhüllen als eine ganz flüssige Masse. Leidenfrost hat sie genauer nach ihrer äußern Beschaffenheit untersucht. Nach der Sitte der damaligen Zeit, die für jede Kraft eine Substrat suchte, schreibt er jede Erscheinung, die er an den Blasen beobachtete, einer besonderen Haut zu und findet dadurch, daß die Seifenblase aus drei übereinandergelegten Häuten von verschiedener Beschaffenheit bestehe. Zuletzt hat Fusinieri die halbflüssigen Membranen untersucht, welche entstehen, wenn man Quadrate oder andre Figuren von Draht durch etwas klebriges Wasser zieht. Er beobachtet ziemlich richtig, sah aber überall nur Resultate seiner seltsamen, vagen Theorie. Aus dieser Untersuchung und meinen eigenen Beobachtungen gehen die folgenden Eigenschaften dieser Membranen hervor.

Newton Optice Lib. II. P. IV.

Leidenfrost. De aquae communis nonnullis qualitatibus **1756**. p. **63**.

Fusinieri **Brugnatelli Giornale. 1821.** a. m. O.

§. 72. Sie sind als Seifenblasen für die Luft undurchdringlich; denn mit Wasserstoffgas gefüllt, steigen sie wie kleine Luftballons in die Höhe. Auch halten sie andere Dämpfe und Dünste, z. B. die von Taback, lange Zeit zurück.

Sie sind elastisch, sowohl wenn sie longitudinal, durch eine der Richtung ihrer Fläche parallel wirkende Kraft ausgezogen werden, als wenn sie, was bei der Bildung der Seifenblasen der Fall ist, einen transversalen Druck erleiden. Sich selbst überlassen, ziehen sie sich, wenn die Luft aus ihnen entweichen kann, in einen Tropfen zusammen. Die innere Luft ist daher ein wenig comprimirt. Der Spielraum ihrer Elasticität, oder ihre Spannbarkeit, ist die größte, die wir bei nicht luftförmigen Körpern kennen; denn ein Seifenwassertropfen, der etwa 15 Milligramm wog, also einen Durchmesser von etwa 3 Millimeter hatte, konnte zu einer Kugel von 50 Millimeter Dicke aufgeblasen werden. Die Oberfläche des Tropfens

und der Kugel verhalten sich wie 1:280. Die Wände dieser Kugeln sind aber nach Newtons optischen Beobachtungen an einigen Stellen nur 10—20 Milliontel Millimeter dick.

Diese Dicke scheint nicht von der Größe des Tropfens und der Blase, sondern bloß von der Beschaffenheit der festen Theile und ihrer Menge im Verhältniß zur Flüssigkeit abhängig zu sein. Ist diese zu groß, so kann sich die Haut nicht so leicht verdünnen; ist sie zu klein, so werden die Intervalle zwischen zwei benachbarten festen Theilen nicht groß genug. Ein gewisses mittleres Verhältniß der festen und flüssigen Theile ist für die Feinheit der Blase am günstigsten. Leidenfrost empfiehlt einen Theil Seife auf acht Theile Wasser; das beste Verhältniß ist jedoch unstreitig von der Beschaffenheit der Seife und von der Temperatur abhängig. Denn nur die in dem Wasser suspendirten, nicht die aufgelösten Theile machen die Entstehung von Blasen möglich. Von der im Wasser fast unlöslichen Gallertsäure reicht schon $^1/_{200}$ hin, um dem Wasser Gallert-Consistenz zu geben.

Pfaff in Erlangen (Münchner Denkschriften 1829—30. p. 77.) hat die Haut beobachtet, welche sich in wasserdichten Gefäßen beim Schütteln von Seifenwasser bildet. Da sie nicht verdampfen kann, so hält sie sich sehr lange. In der Kälte krystallisirt ein Theil des Wassers aus; das übrige bleibt mit dem festen Theile der Seife als eine Haut zurück, die so dünn geworden ist, daß sie das Licht nicht mehr reflectirt. Aehnliche Beobachtungen hatte bereits Wilke Journ. de Phys. 1773. I. p. 106. und Fusinieri Brugnat. Giorn. 1821. gemacht. Der letzte sah ein in einen Draht gespanntes Blättchen von Seifenschaum noch bei 6° unter 0 ungefroren.

Wenn man eine Seifenblase frei, an der Röhre, aus der sie gebildet ist, hängen, oder auf der Oberfläche von Wasser schwimmen läßt, so daß die Luft aus dem Innern nicht entweichen kann, so fließt das Wasser nach unten hin ab, und die obern Theile werden immer dünner. Sticht man mit einer Nadel in einen noch dicken Theil, so verschließt sich die Oeffnung sogleich von selbst., durchsticht man aber einen sehr dünnen Theil, so zerspringt die Blase mit großer Heftigkeit. In dieser Beziehung, wie in ihrer Reaction gegen ihre Form ändernde, äußere Kräfte, hat die Seifenblase viel Aehnlichkeit mit einer dünnen Blase von Kautschuck.

§. 73. Solche Häute erzeugen sich nicht nur beim Wasser, sondern in allen Flüssigkeiten, welche feste, stark adhärirende Theile enthalten. Besonders ist das Quecksilber zu solchen Bildungen geneigt. Die dünne Haut, welche auf nicht ganz reinem Quecksilber entsteht, oder an einem Gefäße, das Quecksilber enthielt, zurückbleibt, besteht aus einem zarten Netze, in dem ein sehr fein vertheiltes Oxyd von einem dem Quecksilber beigemengten unedlen Metalle der Stützpunct ist. Diese Häute besitzen bei sehr geringer Dicke einen hohen Grad von Festigkeit, indem sie den Quecksilbertropfen in einer Lage erhalten, die von dem Gleichgewichte, das er für sich anzunehmen strebt, weit entfernt ist.

Auch bloß flüssige Körper können solche Häute bilden, indem die Stelle des festen Körpers durch einen flüssigen Körper von stärkerer Gewichts-Synaphie, z. B. durch sehr kleine Quecksilberkügelchen ersetzt wird.

§. 74. Die Blasen entstehen zuweilen in sehr zahlreichen Gruppen, als Schaum, entweder indem man die mit festen Theilen gemengte Flüssigkeit umrührt, oder indem sich aus ihrem Innern der Dampf oder ein Gas entwickelt, wobei eine jede in die Höhe steigende Luftkugel zur Blase wird. Die ganze Masse der Flüssigkeit kann auf diese Weise in einen Schaum verwandelt werden, der ein 100 und mehrfach größeres Volumen besitzt. Dieses ist unter andren der Fall beim Aufkochen fast aller Flüssigkeiten von gallertartiger oder öliger Consistenz, bei den meisten organischen Flüssigkeiten, Blut, Milch, u. m. a. Auch bei vielen Körpern, die in hoher Temperatur erweichen und dabei ein Gas entwickeln, z. B. Wasser-, Schwefel-Dampf, Kohlensäure.

Sollte das Ammoniumamalgam bei seiner in der Chemie so beispiellosen Vergrößerung des Volumens auch nur ein Aggregat von Blasen sein, deren Wände aus Quecksilber und festem Quecksilberamalgam bestehen?

§. 75. Alle diese Bildungen verdienen eine genaue Untersuchung, da alle Fasern und Membranen organischen Ursprungs halbflüssig waren, und erst später durch Verdampfung der Flüssigkeit und Annäherung der festen Theile erstarren. Auch von den nach allen drei Dimensionen ausgedehnten festen Körpern sind viele bloß Aggregate von Membranen und Fasern, oder gar ein ausgetrockneter Schaum. Indessen darf man sich nicht durch die Analogie verleiten lassen,

überall diesen Ursprung vorauszusetzen. Denn sehr viele Theile des Organismus sind aus einer gallertartigen Masse entstanden, und diese wirkt nach ganz andren Gesetzen. Denn so stark auch der Zusammenhang zwischen den in der Linie oder in der Fläche neben einander gereihten flüssigen und festen Körpern ist; so fällt doch die Masse ganz auseinander, sobald sie von allen Seiten mit Wasser umgeben ist. Ich werde auf die Gallerte später bei der Cohärenz der Festen zurückkommen.

§. 76. Mit den Seifenblasen hat man oft die Luftblasen verwechselt, welche sich aus reinem Wasser erheben. So lange sich diese noch im Innern des Wassers befinden, haben sie keine eigenthümliche Wand, wenigstens keine, welche von derjenigen verschieden wäre, die nach Poissons Meinung jede Flüssigkeit an ihre Grenze hat. Die Blase steigt, weil sie einen bedeutenden Widerstand zu überwinden hat, nur mit einer geringen Beschleunigung auf. Kommt die Luft an die Wand des Gefäßes oder an einen andren festen Körper, so tritt zu diesem Widerstande noch die Reibung — nicht die Adhäsion der Luft zum Gefäße —; und ist die Luftkugel klein, so bleibt sie an der Wand hängen, bis sie sich endlich in Folge einer Erschütterung oder einer Vereinigung mit andren Luftblasen ablöst. Je schwerer die Wand benetzt wird, je kleiner also die Prosaphie des flüssigen und festen Körpers ist, desto leichter halten sich diese Blasen. Auch im Barometer haften aus diesem Grunde die Luftbläschen so hartnäckig am Glase, selbst innerhalb des Quecksilbers, und man entfernt sie leichter als vorhin, wenn man eine große Blase hinzusteigen läßt, welche die kleinen in sich aufnimmt, den Widerstand durchbricht und mit ihnen aufsteigt. An der Oberfläche der Flüssigkeit angelangt, hebt sie eine dünne Haut derselben empor, und diese hält sich eine kurze Zeit aus ähnlichen Gründen wie eine zwischen zwei festen Körpern gespannte Wasserschicht; aber sie zerfällt bald, weil das Wasser abfließt und die etwas comprimirte Luft sich auszudehnen strebt.

Dunst.

§. 77. Dunst und Dampf sind, wie die meisten Synonyma, ursprünglich bloß provinciell verschiedene Ausdrücke für denselben Begriff, nämlich für das Wasser, welches sichtbar oder unsichtbar in der Luft verbreitet ist. Als man diese beiden Zustände zu un-

terscheiden anfing, nannte man den einen Dunst, den andren Dampf. Allein bald war es das sichtbare, bald das unsichtbare Luftwasser, welches man Dampf nannte. Der Sprachgebrauch ist auch jetzt noch schwankend. Wir werden jedoch nach dem Beispiele der vornehmsten Physiker Deutschlands das gasförmige Wasser Dampf benennen. Hier beschäftigen wir uns nur mit dem Dunste.

Dieser bildet sich, wenn zwei mit Dampf gesättigte, oder ihrer Sättigung nahe Luftmassen von verschiedener Temperatur sich mit einander mischen, in's besondere über warmen leichten verdampfenden Flüssigkeiten. Er ist, als Ganzes betrachtet, in geringer Entfernung über der Oberfläche am dichtesten und ist daselbst an Lage und Beschaffenheit unverändert, so lange die Ursache der Bildung fortdauert. Aber bei genauer Betrachtung zeigt es sich, daß er aus einzelnen Kügelchen besteht, die zum Theil niedersteigen, größtentheils aber in die Höhe gehen und durch neugebildeten Dunst ersetzt werden. Das lange Verweilen der Dunstkügelchen in der Luft erregte schon im siebzehnten Jahrhunderte die Vermuthung, daß sie hohl seien, und leichter als die Luft. Diese Ansicht, von Sauſsure und Deluc mit Eifer vertheidigt, ist seitdem herrschend geworden. Saussure schätzt den Durchmesser der größern Bläschen, die sich über Wasser bilden, auf 0,005—0,006 Millimeter. Jedoch ist die Mehrzahl viel kleiner. Ueber den Stoff, mit dem sie gefüllt sind, und der sie zum Aufsteigen bringt, hat er sich, als umsichtiger Naturforscher, nicht ausgesprochen. Späterhin nahm man an, sie seien mit Wärmestoff, mit Elektricität, mit Wasserdampf gefüllt. Diese Annahmen verdienen in unsrer Zeit keine Widerlegung. Sind es Blasen, so können sie, wenn sie in der Luft gebildet sind, nur mit feuchter und etwas comprimirter Luft gefüllt sein.

§. 78. Aber ich kenne auch nicht eine einzige Hypothese über die Entstehung von Bläschen in der Luft, und die Bedingungen, bei welchen Seifenblasen oder Schaum entsteht, finden sich bei dem Dunste nicht vor. Auch ist ihre Existenz keineswegs erwiesen. Zwar sieht man deutlich Blasen in dem Dunste, wenn man mit einer Lupe von 25—40 Millim. Brennweite in einer passenden Lage auf den Dunst sieht, der aus heißem Kaffe, Dintenwasser u. dgl. aufsteigt, und besonders leicht sieht man sie auf der Oberfläche des Wassers schwimmen. Diese Bläschen haben aber einen andren Ursprung als die

Hauptmasse des Dunstes. Wenn eine Luftblase in dem Wasser rasch aufsteigt, so bleibt sie nicht immer an der Oberfläche schweben, sondern reißt etwas Wasser mit sich fort und dieses vermengt sich mit dem eigentlichen Dunste, der aus einer Mischung der warmen, feuchten Luft über der Flüssigkeit mit der benachbarten kalten Luft hervorgegangen ist, und aus viel kleinern Kügelchen besteht, die mit der Lupe kaum selbstständig erkannt werden können, und wahrscheinlich oft ganz mikroskopisch sind. Der Dunst besteht daher aus zwei von einander ganz verschiedenen Stoffen: erstlich aus Blasen, die sich unmittelbar aus der Flüssigkeit bilden, eine Größe haben, welche der oben angegebenen ungefähr gleich ist und oft auf die Flüssigkeit zurückfallen. Zweitens aus vielen kleinen Kügelchen, die man für Blasen zu halten keine auf Beobachtungen beruhende Ursache hat. Die letzten sind es, welche die Hauptmasse des Dunstes und des Nebels bilden und auf die man mit Unrecht die Eigenschaften übertragen hat, welche nur den Bläschen zukommen. Im Dunste der Wolken hat man keine Blasen unmittelbar beobachtet.

§. 79. Der einzige Einwand, den man gegen diese Ansicht machen kann, ist die Steigkraft des Dunstes in der Luft. Allein diese ist nur scheinbar. Ueber warmen Flüssigkeiten ist beständig ein aufsteigender Luftstrom, der den Dunst und andre leichte Körper mit sich fortreißt. Wo diese Bewegung aufhört, hört auch das Steigen des Dunstes auf und er fällt nieder. Man kann diesen Vorgang am besten an dem Rauch erkennen, der aus den Feueressen aufsteigt. Obgleich er aus Theilen besteht, die 2—3mal schwerer sind als Wasser, steigt er auf, so lange ihn die warme aus den Essen sich erhebende Luft mit sich fortführt. Die Tendenz zu fallen, erleidet bei so kleinen Körpern einen so großen Widerstand, daß sie, wie die Sonnenstäubchen zeigen, selbst bei ruhiger Luft nur sehr langsam sinken. Indessen da die Schwere beständig in derselben Richtung wirkt, die zufälligen Bewegungen der Luft aber unregelmäßig, so werden auch die Stäubchen und der Rauch sich endlich niederschlagen oder sich durch Adhäsion an feste Körper hängen. Der zweite Theil dieses Processes wird an dem Dunste bloß darum nicht wahrgenommen, weil er sich in Dampf verwandelt, aber in dem ersten zeigt er gar keine Verschiedenheit vom Rauche und das Paradoxe, welches in ihrem Aufsteigen in der Luft besteht, findet bei diesem in noch höherem Maßstabe statt, als bei dem leich-

tern Wasser. Die Wolken schweben zwar sehr lange in der Luft, allein schon Deluc hat gezeigt, daß dieses keineswegs von einer Unveränderlichkeit in der Lage der einzelnen Wassertheilchen herrührt; sondern von einem beständigen Entstehen und Zerstören derselben, so lange der Wärme-Unterschied fortdauert, dem der ganze Proceß sein Dasein verdankt, wie der Strudel, der sich an Brückenpfeilern bildet, seine Lage in dem forteilenden Strome nicht verändert.

Ueberdieses sind die Wolken auch als Ganze keineswegs so beständig in ihrer verticalen Lage, als man gewöhnlich annimmt. Sobald der im Laufe des Tages gewöhnliche, aufsteigende Luftstrom aufhört, sinken sie herab, und eine große Menge von atmosphärischen Erscheinungen ist eine Folge von diesem Herabfallen der Wolken. Freilich geschieht dieses nur langsam. Nicht etwa, daß die Wassertheilchen nicht die Kraft hätten, den Zusammenhang der Lufttheilchen aufzuheben, dieser Zusammenhang existirt nicht; sondern daß die Theilchen nur fallen können, indem die Luft in ihrem Zwischenräumen aufsteigt, was, da sie sehr eng sind, nur sehr langsam geschehen kann, und immer wieder eine theilweise Erhebung der leichtern zur Folge hat. Daher die anomalen Bewegungen der Luft, die wir auch in Flüssigkeiten wiederfinden.

§. 80. Die wichtigsten Schriften sind:

De la Hire Mém. de l'Acad. 1666. IX. p. 315.

Halley Phil. Transact. XVI. p. 468., XVIII. p. 183.

Daß der Dunst aus Bläschen bestehe, wird in allen Lehrbüchern vorgetragen.

Leibnitz Miscell. Berol. I. p. 120 sucht sogar ihre Dicke zu berechnen. Nur wenige erklären sich dagegen, z. B.

Desaguliers Cours de Phys. P. II. Leçon X.

Kratzenstein dagegen Preisschrift über die Dämpfe, 1744, beobachtet sie genau und mißt sogar die Dicke der Haut in den Blasen.

Saussure Versuch einer Hygrometrie. Uebersetzung. 1782. p. 297.

Deluc Ideen über die Hygrometrie. Uebersetzung, 1788. II. p. 75.

Monge Mém. de l'Acad. 1788. p. 514. Er ist der einzige, der in diesem Zeitraume der herrschenden Ansicht zu widersprechen wagt.

Swedenborg hält sogar die Elemente aller Körper für Blasen. Neuere Naturforscher, von andren, vermuthlich botanischen Beobachtungen ausgehend, halten sie für Schläuche und suchen dadurch die Cohäsionserscheinungen zu erklären.

Gayluſſac Ann. Chim. Phys. XXI. p. 59.

Muncke hat in Gehler's Wörterbuch, Artikel Dampf, II. p. 629, die verschiedenen Ansichten der Physiker zusammengestellt. In seine Erklärung der Erscheinungen kann ich jedoch nicht einstimmen.

III. Prosaphie eines flüssigen an einen nicht benetzten festen Körper.

Gesetze.

§. 81. Wenn die Flüssigkeit auf dem festen Körper nicht zerfließt, so berühren sich ihre freien Oberflächen in einem Winkel $= w$, dessen Größe unter allen Umständen constant ist. Die Bildung dieses Winkels hat, wenn man von atomistischen Vorstellungen ausgeht, einige Aehnlichkeit mit dem Gange eines Lichtstrals, der einen von dem Medium, in dem er sich bewegte, verschiedenen Körper trifft. Er folgt dem bekannten Gesetze der Reflexion, aber er erlangt seine gradlinigte Bewegung erst an der Grenze der Wirkungssphären der Körper auf's Licht wieder. Innerhalb derselben ist die Bahn gekrümmt. So ist es auch bei der Adhäsion. Innerhalb derselben, d. h. in unmerklichen Entfernungen von der Oberfläche ist die Gestalt des Flüssigen auf eine uns unbekannte Weise gekrümmt; aber in einer merklichen Entfernung machen die Tangenten beider freien Oberflächen der erwähnten Winkel mit einander (§. 16.)

Dieser Winkel kann jede Größe zwischen 0° und 180° haben. Bei 0° würde die Prosaphie $= 0$ sein. In einer Haarröhre stellt sich die Flüssigkeit so tief unter das Niveau, als sie in einer vollkommen benetzten Röhre über ihm stehen würde. Ein Tropfen berührt die Fläche, auf der er liegt, nur in einem Puncte und wird, wenn er sehr klein wird, beinahe zur Kugel. Dieses Extrem ist jedoch noch nicht beobachtet.

Wenn $w = 90°$, so wäre die Oberfläche der Flüssigkeit in einem Gefäße mit perpendiculären Wänden ganz horizontal; in einer

Haarröhre bliebe das Niveau ungeändert und ein kleiner Tropfen, der auf einer Ebene liegt, würde einer Halbkugel ähnlich. Auch dieser Uebergangspunct ist nicht beobachtet.

Ist w *größer* als 90°, so hat die Flüssigkeit eine *concave* Oberfläche, steht in Röhren über dem Niveau und der kleine Tropfen ist einem Kugelsegmente ähnlich, das kleiner ist, als die Halbkugel.

Wenn w *kleiner* als 90° ist, so ist die Flüssigkeit conver. Der Tropfen ähnelt einem Kugelsegmente, das größer ist, als die Halbkugel. Die Verbindung des flüssigen mit dem festen Körper ist sehr locker. Die geringste Kraft reicht hin, einen Tropfen auf einer horizontalen Fläche zu bewegen, und mit einem Stäbchen kann man ihn hin- und herführen. Eine kleine Erhöhung vermag die Bewegung zu hemmen. Ein großer Quecksilbertropfen, der auf einer glatten Steinfläche rollt und auf eine Vertiefung stößt, läßt einen kleinen Tropfen in ihr zurück. Das übrige rollt zwar weiter, bleibt aber eine Zeit lang durch einen immer schmaler werdenden Quecksilberfaden mit dem Metall in der Höhlung verbunden, und wird von ihm, wenn das Moment der Bewegung nicht zu groß ist, auf das Quecksilber der Höhlung zurückgeführt.

Ein kugelähnlicher Tropfen kann auf der obern Oeffnung einer Röhre liegen, ohne durchzufallen, oder auf einem Loche, einer Spalte, deren Weite dem Durchmesser des Tropfens bedeutend nachsteht. So kann man z. B. Quecksilber in einem Siebe von Eisendraht, Wasser in etwas fettiger Leinwand erhalten. Die kleinste Oeffnung, welche einen Tropfen von bestimmter Größe noch tragen kann, verdient berechnet zu werden.

§. 82. Der Werth des Winkels w ist durch unmittelbare Messung nicht genau zu bestimmen. Auch durch Haarröhren und Adhäsionsplatten erlangt man keine genauen Resultate, denn die Schwierigkeiten sind hier noch größer, als bei der Synarbie. Am genauesten kann die Prokarbie durch die Höhe eines Tropfens von großen Dimensionen gefunden werden. Diese Methode ist auch in höherer Temperatur anwendbar.

Quecksilber und Glas.

§. 83. Am meisten hat man sich mit der Prokarbie von *Quecksilber* und *Glas* beschäftigt. Die Mathematiker haben sie

berechnet und unter den Phyſikern iſt ſie zuerſt von Segner, und ſpäter von Morveau, Young, Hauy, Gayluſſac und Dutour mit großer Sorgfalt beobachtet worden. Aus den Verſuchen von Segner und Gayluſſac ergiebt ſich die Höhe eines großen Tropfens, den Queckſilber auf Glas bildet, 3,378 Millimeter. Daraus folgt für den Stand des Queckſilbers in einer Glasröhre von 1 Millimeter Radius, 4,6 Millim. unter dem Niveau, und für den Berührungswinkel 45^0—48^0. Die Höhe der Queckſilberſchicht, welche von einer Glasplatte getragen werden kann, würde daher 1,49 Millim. betragen; aber aus der Beobachtung der Gewichte bei Adhäſionsplatten abgeleitet, ſchwankt ſie zwiſchen 1 und 2 Millim.

§. 84. Ueber die Prosaphie des Queckſilbers zu andren Körpern giebt es nur wenige und unzuverläſſige Materialien. Nach Casbois ſoll das Queckſilber in einer innen mit Baumöl beſtrichenen Röhre höher ſtehen, als in bloßem Glaſe. Nach Petit und Morveau ſteht es bei einer mit Talg oder Wachs überzogenen Röhre über dem Niveau. Dieſes muß ich jedoch bezweifeln, denn den Berührungswinkel zwiſchen dieſem Metall und Wachs oder Talg habe ich immer kleiner als 90^0 gefunden.

Segner findet in genauen Meſſungen die Höhe der Queckſilbertropfen auf Glas und Papier einander völlig gleich.

Dutour giebt dagegen folgende relativen Prosaphie-Gewichte an Platten von verſchiedener Beſchaffenheit:

Glas	1,00.	Papier	0,14.
Talk	0,61.	Wachs	0,11—0,00.
Talg	0,25.		

Auch zieht man unter gewöhnlichen Umſtänden einen Queckſilbertropfen durch Papier vom Glas, und durch Queckſilber vom Papier. Hierbei ſpielt jedoch die Feuchtigkeit eine bedeutende Rolle. An einer unten befeuchteten Glasröhre haftet ein Queckſilbertropfen mit großer Kraft und man ſaugt ihn leicht in die Röhre. In eine ganz trockene Röhre kann man ihn nur mit Mühe einziehen.

Guyton de Morveau findet, daß das Queckſilber an gleich großen Adhäſionsplatten von verſchiedener Beſchaffenheit mit folgenden Kräften haftet:

an Gold	2,6.	Zinn	2,5.
Silber	2,5.	Blei	2,3.

Wismuth	2,2.	Antimon	0,7,
Platina	1,6.	Eisen	0,6.
Zink	1,2.	Kobalt	0,05.
Glas	1,0.		

Diese Versuche scheinen nur einmal angestellt und die Stoffe nicht ganz gereinigt gewesen zu sein. Sie sind gewiß unrichtig. Bei Gold und Silber war unstreitig Amalgamation, Zink steht viel zu tief in der Reihe und alle Metalle, die vor dem Platina stehen, haben vermuthlich eine gleiche Kraft (Siehe §. 34.)

Indessen geht doch so viel aus diesen und Dutours Versuchen hervor, daß die Prosaphie von Queckſilber gegen verschiedene Metalle von sehr verschiedener Größe ist. Was das Verhältniß von Papier zum Glase betrifft, so verdient die Methode von Segner ein größeres Vertrauen, als die von Dutour. Es findet sich auch in andren Gebieten der Physik, in der Fortpflanzung von Licht, Wärme, Elektricität, daß die nicht metallischen Körper sich unter einander ziemlich gleich verhalten, aber sehr verschieden von den Metallen.

Bei allen Metallen, selbst dem Kupfer, finde ich, sodald sie nicht amalgamirt werden, den Berührungswinkel mit Queckſilber kleiner als 90°. Zerfließen des Queckſilbers habe ich bis jetzt nur in Verbindung mit Amalgamation wahrgenommen. Doch soll es auf Platina und Eisen zuweilen zerfließen, ohne sie aufzulösen.

§. 85. Literatur.

Petit Mém. de l'Acad. 1724. p. 94.

Desaguliers Cours de Phys. I.

Segner Comment. Gotting. 1752. I. p. 301.

Dutour Journ. de Phys. 1780. XV. p. 237.

Besile Journ. de Phys. 1786. XXVIII. p. 171.

Morveau Journ. de Phys. 1773. I. 168. 460; Ann. de Chim. VI. u. a. O.

Young Phil. Transact. 1815. p. 65.

Hauy in Laplace's Theorie der Capillarität.

Gayluſſac in Poiſſons Neuer Theorie der Capillarität. p. 218.

Adhäsion des Queckſilbers im Barometer.

§. 86. Deluc hat zuerst auf die ungleichförmige Wölbung des Queckſilbers in verschiedenen Barometern aufmerksam gemacht,

und um diesen Mangel zu beseitigen, die Heberbarometer empfohlen. Bouvard, Ivory, Schleiermacher und Eckhart haben Tabellen über die Höhe der Kuppe in Röhren von verschiedener Weite berechnet. Andre haben mehrere Mittel vorgeschlagen, um die beiden Schenkel des Heberbarometers, so weit der Spielraum des Queckſilbers geht, von gleicher Weite zu erlangen. Dessen ungeachtet kann man den Druck der Luft bis jetzt noch nicht mit Zuverſicht aus dem Barometerſtande ableiten.

Denn an dem kurzen Schenkel des Barometres hängt die Adhäſion von all den Zufälligkeiten ab, denen das Queckſilber an der Luft unterworfen iſt. Es bildet ſich auf dem Queckſilber, das zu ſolchen Bildungen vorzüglich geeignet iſt, aus Oxyd oder andren beigemengten Stoffen eine Haut, welche deſſen Beweglichkeit ſehr vermindert und die Oberfläche oft ganz unregelmäßig macht.

In dem langen Schenkel iſt die Oberfläche zwar von jenen Zufälligkeiten frei und der Winkel zwiſchen Queckſilber und Glas unabhängig von dem Stande des Barometres; aber er iſt bei verſchiedenen Barometren von ungleichem Werthe, und immer kleiner als 45°, die Größe, welche er an der Luft zu haben pflegt. Die Wölbung iſt ſogar zuweilen ſo flach, daß ſie bei einem geringen Fallen der Queckſilberſäule concav wird. Indem das Queckſilber hier weit reiner iſt, als an der Luft, und eine Oxydſchicht ſich nur ausnahmsweiſe bildet, ſo müſſen wir annehmen, daß die Krümmung in dem langen Schenkel von der Adhäſion am Glaſe abhängig iſt, während die gewöhnliche, ſtärkere Krümmung an freier Luft mehr von der Anziehung des Queckſilbers an das mit einer Waſſer- oder Luftſchicht bedeckte Glas bedingt wird. Beſſel fand, daß der Stand eines Barometres von etwa 15 Millimeter Weite um 1 Millim. niedriger wurde, als er eine kleinere Luftblaſe fortgeſchafft hatte, welches, da Beſſel unſtreitig die Höhe des Queckſilbers nach der Wölbung gemeſſen hat, nur einer Verminderung der Convexität zugeſchrieben werden kann. Die Abweichungen, die man bei Barometern von verſchiedenen Fabriken wahrnimmt, werden daher, ſo weit ſie von der Weite unabhängig ſind, wahrſcheinlich von der Beſchaffenheit des Glaſes herrühren. Bei gleichem Glaſe ſchien mir in gut ausgekochten Barometern der Winkel ziemlich gleichförmig zu ſein. Dieſer Meinung ſind auch Beſſel, Schumacher und Berzelius.

§. 87. Seit Delucs Zeiten haben sich die Heberbarometer so sehr verbreitet, daß man sich der Gefäßbarometer zu genauen Beobachtungen gar nicht mehr bedient. Man ist darin zu weit gegangen; denn selbst sehr gute Heberbarometer sind auf ein paar Zehntheile eines Millimeters unzuverlässig und mit einigen Vorsichtsmaßregeln kann man im Gefäßbarometer eine mindestens eben so große Genauigkeit erlangen. In der langen Röhre ist die Capillarität zwar nicht bei allen Barometern gleich, aber doch in einem und demselben Barometer unveränderlich, in der Regel auch dann, wenn über das Queckſilber mit der Zeit ein wenig Luft eingetreten sein sollte. Das Gefäß muß so weit gemacht werden, daß die Veränderungen in der Wölbung ohne merklichen Einfluß sind, und das Queckſilber, wenn es sich verunreinigt hat, leicht erneuert werden kann. Die Correction, welche durch die Veränderung des Spiegels im Gefäße nothwendig wird, kann man entweder vermittels einer kleinen Tabelle, wie die Temperatur, oder unmittelbar an der Scale anbringen. Diese kann wie bei Heberbarometern beweglich sein, und sich unten in einer Stahl- oder Glasspitze endigen, welche den Queckſilberspiegel berührt. Ich habe mich überzeugt, daß man damit das Niveau sehr genau bestimmen kann. Für stationäre Beobachtungen würde ich das Gefäßbarometer vorziehen. Bei Reisebarometern fehlt es mir noch an Erfahrung; jedoch scheint auch hier das Gefäßbarometer vorzuziehen.

§. 88. Literatur.

Cavendish Phil. Transact. 1776. p. 382. Er giebt eine Tabelle über die Wölbung des Queckſilbers im Barometer nach Beobachtungen.

Bouvard eine nach Laplace's Formeln berechnete Tabelle. Ann. Chim. Phys. XXII. p. 333.

Ivory Phil. Magaz. Ann. 1828. III. p. 1.

Dulong in Poisson's Nouv. Theor. capill. p. 291.

Bohnenberger, Tübinger Naturwissenschaftliche Abhandl. 1827. I. p. 220.

Bessel Astronom. Nachr. 1830. N. 175 und 187.

Schumacher ib. N. 175.

Riese ib. N. 183.

Berzelius Jahresbericht 1834. XIV. p. 51.

L. Thilo Abhandl. der Akad. von München für 1829—30. p. 15—74. Es setzt ausführlich aus einander, wie die Temperatur

ſtatt durch das Volumen des Queckſilbers in einem gewöhnlichen Thermometer durch ſein Volumen in einem Barometer beſtimmt werden könne, und findet dabei das allerdings überraſchende Geſetz, daß eine Flüſſigkeit, in welcher in Folge von Temperaturveränderung oder auf andre Weiſe innere Bewegungen entſtanden ſind, ſpecifiſch leichter ſei. Von der Correction, welche die Capillarität verurſacht, iſt in der Abhandlung nirgends die Rede. Es verſteht ſich, daß jede der von Thilo beobachteten Veränderungen in dem Volumen der Säule entweder durch ihre ungleichförmige Erwärmung, oder durch eine Variation in der Wölbung der beiden Oberflächen erklärt werden kann.

§. 89. Eine merkwürdige Erſcheinung iſt zuerſt i. J. 1672. von Huygens beobachtet worden und ſeitdem oft wiederholt. Er fand, daß ſich das Queckſilber in einem gut ausgekochten Barometer wol 2 Meter, d. h. mehr als anderthalb Atmoſphären über ſeinem gewöhnlichen Stande erhalten konnte, wenn es die innere Fläche der oberen Glaswölbung berührte. Sobald es ſich aber von dieſer löste, fiel es ſchnell auf den gewöhnlichen Stand zurück. Huygens hatte vermuthlich enge Röhren. Aber bis auf 0,1 Meter gelingt es mit jedem guten Barometer, wenn das Queckſilber ſich mit einiger Gewalt an die Wölbung gelegt hat. Huygens erklärte dieſen hohen Stand durch einen Aether, der damals die Stelle einer Qualitas occulta der ältern Phyſiker und der Elektricität der neuern Zeit ſpielte. Bis jetzt iſt jedoch noch keine genügende Erklärung dieſer Erſcheinung gegeben.

Die Adhäſion an den Wänden der Röhre, wie man gewöhnlich annimmt, kann die Urſache nicht ſein. Die Entfernung des Queckſilbers von der inneren Fläche des Glaſes, wodurch die Größe der Berührungsfläche nur unbedeutend vermindert wird, würde alsdann nicht von ſo entſcheidendem Einfluſſe ſein können. Auch Reibung iſt die Urſache nicht. Zwar kann ſich eine Queckſilberſäule von einigen Zollen Höhe in einer engen Röhre durch die Reibung erhalten; allein in den weitern Röhren der Barometer iſt die Reibung unbedeutend, obſchon ihr die Umſtände ſonſt ſehr günſtig ſind; denn obgleich die Queckſilberſäule das Glas in einer Länge von etwa 860 Millimeter berührt, und die Kraft der Schwere bei einem wenig erhöhten Stande des Queckſilbers ſehr ſchwach iſt; ſo kann man dennoch bei einer ſehr langſamen Neigung eines Barometers von

etwa 6 Millimeter Weite das Queckſilber nur etwa 0,5 Millimeter über ſeinem regelmäßigen Stande erhalten. Die Wirkung der Reibung iſt alſo kaum 0,01 von dem höhern Stande, den man in gut ausgekochten Barometern erlangt. Die unmittelbare Urſache kann alſo nur in der innern Wölbung des Glaſes liegen, und die Adhäſion an den Seitenwänden nur in ſo fern von Einfluß ſein, als das Queckſilber verhindert wird, ſich von der Wand zu entfernen und wie bei Adhäſionsplatten an den Seiten die Concavität zu erlangen, welche dem Abreißen der Platte vorangeht. Um dieſe ſo kräftige Prosaphie an die kleine Oberfläche zu erklären, iſt man, wie ich vermuthe, nicht genöthigt, neue Elemente in die bis jetzt bekannten Geſetze für das Gleichgewicht der Flüſſigkeiten aufzunehmen.

§. 90. Geſchmolzenes Blei verhält ſich in Röhren von Glas und Pfeifenthon wie Queckſilber. Es ſteht unter dem Niveau, nach Gellerts Beobachtung (Mém. de l'Acad. de Petersb. auf 1740. p. 243) 17,5 Millimeter bei einer Röhre von 1 Millim. Radius. Jedoch bedarf dieſe Differenz, die viermal ſo groß iſt, als bei dem Queckſilber in gewöhnlicher Temperatur und gewiß nicht leichter zu beobachten iſt, noch der Beſtätigung. Auch bei andren geſchmolzenen Metallen in Glas oder Porzellan iſt der Werth des Winkels w kleiner als 90°, indem die zerfloſſene Maſſe gegen die Wände der gewöhnlichen Gefäße und die darauf ſchwimmenden Oxyde und Schlacken eine convexe Oberfläche annimmt.

Prosaphie benetzender Flüſſigkeiten.

§. 91. Daß der Winkel w zwiſchen 90° und 180° iſt, und die Flüſſigkeit in Haarröhrchen die ſie nicht benetzt, über dem Niveau, ſteht, iſt zwar noch nicht genau gemeſſen, kommt aber ſehr häufig bei den Körpern vor, welche zuweilen auch vollſtändig benetzt werden. Das Benetzen verlangt Zeit, viele Körper werden von den flüſſigen gar nicht ohne fremde Hülfe benetzt, und ſo lange das Benetzen nicht vollſtändig eingetreten iſt, wird w zwiſchen 90° und 180° ſtehn. Ein Tropfen ſollte auf einem benetzbaren Körper nicht eher in Ruhe ſein, als bis er ſich ganz ausgebreitet hat. Aber dieſes iſt der Fall nicht. Tropfen von Waſſer, Salzen, Säuren ſetzen ſich auf Glas und Metall in Gleichgewicht, indem ſie eine Geſtalt annehmen, die einem Kugelſegment ähnlich iſt, das kleiner iſt als die Halbkugel und das ſich ſcharf an der Fläche des feſten Körpers abgrenzt. Aether, Weingeiſt und Oele verbreiten ſich zwar weit leichter,

aber auch diese sieht man als scharf begrenzte, nur etwas flache Tropfen. Daß nur wenige Flüssigkeiten in einer Haarröhre ohne vorhergehende Benetzung ihren Normalstand erreichen, habe ich bereits oben erwähnt. Es hat sogar den Anschein, als wenn viele Flüssigkeiten in einer zwiefachen Lage im Gleichgewichte verharren könnten: erstlich bei derjenigen, welche ihrer Synaphie zukommt; und wobei die Röhre in der Nähe der obern Wölbung, wo die beiden Oberflächen des Flüssigen und Festen sich berühren, vollkommen benetzt ist, und zweitens bei einer weit niedrigern Stellung, die aber auch noch höher liegt, als das Niveau, und wo die beiden Oberflächen einen spitzen von 0° mehr oder weniger entfernten Winkel mit einander machen.

§. 92. Vielleicht benetzt keine Flüssigkeit einen andren festen oder flüssigen Körper vollständig ohne fremde Hülfe. Die Prosaphie kommt vielleicht nirgends der Synaphie gleich. Das Wasser z. B. kann man auf fettigen Körpern oder auf Metallen, an denen die Politur eine Oelschicht zurückgelassen hat, nur mit Mühe in einer dünnen Lage verbreiten, es sammelt sich immer wieder in einzelnen Tropfen. Bei andren Körpern scheint zwar die Benetzung dem Auge gleichförmig zu sein, aber mit der Lupe oder dem Mikroskop sind die einzelnen Tropfen ebenfalls zu unterscheiden. Die Wasserschicht muß, um eine horizontale Fläche reinen Metalles ganz zu überziehen, eine gewisse Dicke haben und wenn sie durch Verdampfung vermindert ist, so zieht sich das früher in einer Schicht verbreitete Wasser zu einzelnen Tropfen zusammen, oder wird durch einen andren Körper von stärkerer Prosaphie abgezogen, ohne eine Spur zurückzulassen. So nur lassen sich die so häufig eintretenden retrograden Bewegungen erklären, welche die Flüssigkeiten in Haarröhrchen annehmen, bald nachdem sie ihren Normalstand erreicht haben. Indessen wo der Winkel w von 180° nur wenig abweicht, sind die Erscheinungen von denen einer vollständigen Benetzung wenig verschieden, und ein Tropfen breitet sich so aus, daß er die Oberfläche der zu unsern Experimenten dienenden Gefäße ganz bedeckt.

Andrerseits scheinen alle festen Körper, welche mit einer Flüssigkeit einen größern Winkel als 90° machen, oder als Haarröhren sie über dem Niveau erhalten, einer Benetzung fähig zu sein. Wenigstens konnte, wo der Winkel kleiner war, eine Benetzung niemals hervorgebracht werden.

§. 93. Der wichtige der bisher herrschenden Ansicht widersprechende Satz, daß der Winkel w niemals $= 180^0$ ist, die Anziehung zwischen heterogenen Körpern derjenigen zwischen homogenen niemals gleich komme, ist also zwar noch nicht für ganz erwiesen, aber doch für wahrscheinlich zu halten.

Schwimmen eines Körpers auf einer leichteren Flüssigkeit.

§. 94. Wie Wassertropfen sich der Schwere entgegen auf Glas und Quecksilber erhalten können, ohne sich darauf zu verbreiten, so schwimmen zuweilen feste Körper auf flüssigen von kleinerem specifischem Gewichte. Benetzt sinken sie sogleich unter, unbenetzt werden sie durch die Synaphie der Wassertheile und ihre Prosaphie gegen den fremden Körper auf der Oberfläche erhalten. Der Versuch gelingt am sichersten, wenn man das Wasser mit einer Aether- oder Oelschicht bedeckt. Der stark netzende Ueberzug, den die festen Körper erlangen, indem sie durch die obere Schicht fallen, schützt sie vor der Benetzung des Wassers, auf dessen Oberfläche sie liegen bleiben. Allein auch ohne dieses Hülfsmittel habe ich Schwefel, Glas, Erden, Metalldrähte, selbst Quecksilberkügelchen auf dem Wasser, Platin auf dem Quecksilber schwimmend erhalten. Das Platin unterzutauchen, kostet sogar einige Gewalt. Je stärker die Synaphie der Flüssigkeit ist, desto leichter können die Körper zum Schwimmen gebracht werden, daher auf Wasser viel leichter als auf Weingeist und Oelen. Auch scheint die höhere Temperatur das Schwimmen zu erschweren. Aräometer von gefirnißtem Metall sinken, wenn sie unbenetzt sind, nicht auf den Standpunct hinab, den das hydrostatische Gleichgewicht verlangt, und haben dadurch schon manchen Irrthum in der Bestimmung der specifischen Gewichte veranlaßt. Die Prosaphie hält auch hier einem oft bedeutenden Drucke das Gleichgewicht.

Die Metallstücke, die Quecksilbertröpfchen, die Harztheile, die auf dem Wasser schwimmen, ziehen einander an, nähern sich der Wand des Gefäßes nicht und entfernen sich rasch von Erhöhungen, welche man mit einem benetzten Stifte im Wasser hervorbringt, und von den meisten durch ihre Leichtigkeit schwimmenden Körpern. Alles dieses spricht für einen spitzen Berührungswinkel zwischen Wasser und den durch die Prosaphie schwimmenden Körpern; auch die Beobachtung scheint dafür zu sprechen, und nach dieser

Voraussetzung hat man auch die Gestalt der Wasserfläche berechnet.

§. 95. Allein diese Annahme kann nicht richtig sein. Das Wasser hat auf Quecksilber und auf festen Metallen einen stumpfen Winkel, und es kann keinen entscheidendenden Einfluß auf die Größe des Winkels haben, ob das Metall auf dem Wasser oder dieses auf jenem liegt. Die mathematische Theorie hat also hier eine Lücke.

Es sei a die Synaphie des Wassers, c die des Quecksilbers, b die Prosaphie beider, so sind nach der gewöhnlichen Annähme die Cosinus der Berührungswinkel w,

$$= \frac{2bb - aa}{aa} \text{ und } \frac{2bb - cc}{cc};$$

beide Werthe müßten einander gleich sein, also $a = c$, was nicht der Fall sein kann. In die vollständige Gleichung für den Winkel müssen die Größen a und c, offenbar auf gleiche Weise eintreten. Vielleicht folgeudermaßen:

$$\text{Cosin. } w = \frac{4bb - aa - cc}{aa + cc}$$

b kann daher nicht eben so von der Prosaphie abhängen, wie a von Synaphie. (Siehe §. 16.)

Auch beruhet die Beobachtung, daß der Berührungswinkel bei schwimmenden Metallen spitz sei, nur auf Täuschung. Die Stelle, wo die Metalle liegen, ist zwar vertieft, denn die Wassertheilchen werden stärker gedrückt, als wenn bloß Wasser von gleichem Volumen da wäre. Aber das Metall taucht so tief in's Wasser, daß die Flüssigkeit immer noch einen stumpfen Winkel mit ihm macht. Besser als bei den immer nur kleinen Metallstücken sieht man dieses bei Schwefel und Harz, die in großen Stücken auf dem Wasser schwimmen. Hier folgt das Wasser allen Unregelmäßigkeiten in der Gestalt des festen Körpers, um überall denselben Winkel damit zu machen; und dieser ist deutlich stumpf.

§. 96. Der Widerstand des Wassers gegen das Einsinken von festen Körpern hat auf die Vermuthung geführt, daß die Oberfläche eines Flüssigen den Charakter der Flüssigkeit ganz verloren habe und fest geworden sei. Man ist sogar so weit gegangen zu behaupten, daß der feste Körper sich von dem flüssigen nur dadurch unterscheide, daß er überall Oberfläche sei, während die flüssigen Theile sich

stetig berühren, und berief sich dabei auf die Theilbarkeit der Krystalle. Diese Hypothese hat jedoch die Frage über den Unterschied von Festem und Flüssigem nicht beantwortet, sondern nur in ein andres, noch dunkleres Gebiet hinübergeführt. Eine besondre Widerlegung ist unnöthig, da sie aus dem Gange unsrer Untersuchung von selbst hervorgeht.

§. 97. Die Literatur über das Schwimmen schwerer Körper auf Wasser ist:

Petit Mém. de l'Acad. 1724. p. 134.

Gerdil spricht vom Schwimmen der Queckſilbertropfen (Siehe §. 10.).

Rumford Gilb. Annal. 1807. XXV. p. 121 hat die besten Versuche über dieses Schwimmen, und erklärt sie durch eine Haut.

Link Gilb. Annal. 1814. XLVII. p. 13 stellt einige neue Versuche an und führt Rumfords Theorie weiter aus.

Prechtl Gehlen Journ. VII. p. 448 stimmt Rumfords und Links Ansicht bei.

Einfluß der Temperatur auf die Prosaphie.

§. 98. In gewöhnlicher Temperatur machen die Flüssigkeiten in der Nähe des Berührungsortes mit den festen Körpern in der Regel einen stumpfen Winkel. In höheren Temperaturen finden sich die spitzen Winkel öfter vor.

Daß die Prosaphie in höhern Temperaturen kleiner ist, wie in niedern, ergiebt sich theils durch die Analogie mit der Synaphie, theils durch mehrere Erscheinungen. Ein Tropfen Oel, Alkohol, Schwefelsäure und etwas schwächer auch ein Tropfen Wasser, die an einem Glas- oder Eisenstäbchen hängen, ziehen sich, wenn ein Theil des Stabs erwärmt worden, sogar der Schwere entgegen, nach dem kälteren Theile hin. In einer engen Röhre zieht sich eine flüssige Säule von dem erwärmten Theile ab, und in einer Weingeistlibelle geht die Luftblase dem wärmeren Theile zu. Man hat dieses für eine Folge der Verdampfung gehalten, aber dieselbe Beobachtung kann man an vielen geschmolzenen Salzen machen.

Libri und Nobili Ferussac Bulletin mathem. 1825. IV. p. 309.

Berzelius Jahresbericht. 1830. X. p. 47.

§. 99. Noch auffallender zeigt sich diese Abnahme der Pros-

aphie in Tropfen, welche auf erhitzte Metalle gebracht werden. Wenn Wasser in einem Löffel über Feuer gehalten wird, so verdampft es um so schneller, je heißer es ist und kommt bei einer gewissen Temperatur zum Sieden. Wird dagegen der Löffel bis zum Sieden erhitzt und das Wasser erst dann hinein getröpfelt, so behält der Tropfen seine Kugelgestalt bei, um so vollständiger, je höher seine und des Löffels Temperatur ist. Er verdampft sehr langsam und erst, wenn der Löffel vom Feuer genommen und abgekühlt ist, verwandelt sich der Tropfen mit Explosion in Dampf. Man beobachtet dieses in jeder Werkstätte, wo Metall geglüht wird, in jeder Glashütte, wo Wasser mit dem geschmolzenen Glase in Berührung kommt, aber erst Leidenfrost hat es genauer untersucht.

§. 100. Diese Erscheinung ist nur im Vergleiche mit dem, was man beim Wasser in gewöhnlicher Temperatur sieht, paradox, mit dem Verhalten des Queckſilbers auf Glas oder Metall, und selbst eines Wassertropfens auf einer ganz mit Ruß bedeckten Fläche stimmt sie vollkommen überein. Man kann einen angerußten Löffel mit dem Wasser weit über die Siedhitze erwärmen, ohne daß der Tropfen siedet. Er bleibt rund, verdampft langsam und bewegt sich um sich selbst, weil die fortschreitende Bewegung durch die rauhe Oberfläche einigen Widerstand erleidet. Sobald aber irgend eine Lücke in der Kohle entsteht, so daß das Wasser an einem Puncte mit dem Metall selbst in Berührung tritt, so drängt das eine starke Prosaphie zum Metall besitzende Wasser die locker damit verbundene Kohlenschicht hinweg und kommt in's Sieden.

Der Winkel, unter dem die Flüssigkeit und das Metall sich treffen, scheint bei einer jeden Temperatur constant zu sein. Mit dem Sinken derselben steigt die Anziehung beider Körper, der Tropfen wird flacher, die Größe der Berührungsfläche nimmt zu, seine Temperatur steigt nun schnell, und er beginnt zu sieden. In hohen Wärmegraden ist der Tropfen sehr rund und dem Queckſilber gleich, (§. 81.) fällt er nicht durch enge Oeffnungen.

§. 102. Diese letzte Erscheinung ist von von Perkins, einem der genialsten Mechaniker unsrer Zeit, zur Sprache gebracht worden. Es war ihm ein Dampfkessel während der Arbeit gesprungen. Obgleich aber der Druck 50 Atmosphären betrug, drang kein Wasser durch, so lange der Kessel heiß blieb. Erst als er sich abgekühlt hatte,

floß es aus. In einem andren Versuche drang das Wasser nicht durch ein rothglühendes Metall, in dem eine Oeffnung von etwa 3 Millim. Weite gebohrt war. Wie die alten Physiker das Aufsteigen einer Flüssigkeit in Haarröhren durch eine Anziehungskraft erklärten, welche sich vom Glase aus mindestens in eine dem Radius der Röhre gleichen Entfernung erstrecke, so meinte Perkins, daß das glühende Metall eine Abstoßungskraft auf das Wasser äußere, die mindestens 1,5 Millim. weit geht. Diese Erklärung wird kein Physiker annehmen.

Von der Richtigkeit der Beobachtung kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein kleines Loch in ein Metallblech bohrt. Zwar möchte es auf diesem Wege nicht gelingen, das Quecksilber von einer Oeffnung von 3 Millim. zurückzuhalten. Aber Perkins stellte seine Beobachtungen auch nicht mit einem dünnen Bleche an, sondern mit der dicken Wand seiner Hochdruckkessel, also in einem Kanale, dessen Länge wahrscheinlich 70—80 Millimeter betrug.

§. 102. Perkins Beobachtung erregte ein großes Interesse, weil sie eine der wichtigsten technischen Fragen betraf, nämlich das Zerspringen der Dampfkessel, dem man vergebens durch eine gute Einrichtung der Ventile vorzubeugen gesucht hatte. Man nimmt jetzt gewöhnlich an, daß das Wasser sich vom Kessel, der aus Mangel an hinreichendem Wasser zu stark erhitzt sei, zurückziehe und eine weit niedrigere Temperatur habe, als gewöhnlich. Die sehr geringe Thätigkeit mehrerer Maschinen kurz vor dem Zerspringen schien diese Ansicht zu bestätigen. Sobald aber der Kessel etwa durch Oeffnen eines Ventils oder durch Einfüllen von Wasser etwas abgekühlt wird, so komme das Wasser, wie in dem kleinen leidenfrostschen Versuche, plötzlich mit dem heißen Metall in Berührung und es bilde sich eine große Menge Dampf von hoher Elasticität, welche den Kessel zersprenge. Dieses ist auch gewiß der Fall. Aber die Ursache des Zerspringens liegt nicht in der hohen Temperatur und der entsprechenden Elasticität des Dampfes, als vielmehr in dem Stoße, der sich durch die Entwickelung erzeugt. Die dicke Metallwand, kann einen sehr großen Druck ertragen, aber sobald das Wasser mit dem glühenden Metalle in Berührung kommt, entwickelt sich der Dampf mit Explosion, und die Theile haben neben ihrer Elasticität ein so beträchtliches Bewegungsmoment, daß sie große Hindernisse überwinden können. Et-

was ähnliches beobachtet man an liquid gemachter schwefliger Säure und selbst an der Luftpumpe. Eine dünne Glaswand oder eine Membran war im Stande, den Druck von einer oder mehreren Atmosphären zr ertragen. Aber in dem Momente, wo durch Zufall oder Absicht eine Oeffnung darin gemacht wird, stürzt alles Gas mit solcher Kraft hinaus, daß die Membran oder die Röhre gänzlich zerschmettert werden.

§. 103. Ich kehre zu dem leidenfrostischen Versuche zurück. Mit wenigen Ausnahmen habe ich ihn bei allen Flüssigkeiten beobachtet. Am Wasser, an Säuren, Aether, an Brom u. a. Selbst feste Körper, Schwefel, Eis, schmelzen auf dem heißen Metall zu einem Tropfen. Alkohol, Aether, Terpentinöl, Schwefel, entzünden sich zuweilen und setzen ihr Spiel unter der Flamme fort. Nur bei Baumöl und andren fetten Oelen ist es mir nicht gelungen; sie zerflossen und siedeten. Ist die Unterlage rauh, so wird sie vom Tropfen an mehreren Stellen berührt, und die zwischen ihnen liegende Fläche kann die gegenüber stehenden Theile des Tropfens stärker erhitzen. Dann gelingt der Versuch weit weniger leicht als auf glatten und flachen Schalen von Porzellan oder Platina, welche man am zweckmäßigsten über einer Lampe in fast gleichförmiger Temperatur erhält. Es ist leicht nach einigen vorläufigen Versuchen das rechte Maß zu treffen. Nach Leidenfrost wirkt auch geschmolzenes Blei sehr gut auf Wasser, Silber dagegen sehr schwer, geschmolzenes Kupfer gar nicht. Am besten folgt man dem Gange der Erscheinung bei Aether und Weingeist auf Queckſilber, bei dem man wegen seiner Glätte das Minimum der Temperatur anwenden kann. Auf kaltem Queckſilber und selbst in höherer Temperatur, wenn sie nur den Siedpunct des Wassers nicht viel übertrifft, breitet sich der Aethertropfen auf der Metallfläche stark aus, und wird, wenn das Queckſilber rein ist, sogar durch sein Sieden nicht ganz darin gestört. Bei etwas höherer Temperatur überwiegt das Sieden, indem der Aether schnell in Dampf verwandelt wird und eine dünne Haut auf dem Queckſilber zurückläßt, die ein Gemeng von Aether oder Producten, die aus seiner Zersetzung entstehen, und metallischem, fein zertheiltem Queckſilber zu sein scheint. Dieses Sieden dauert bei noch höherer Temperatur fort. Es ist aber sehr verschieden von dem, welches man bei allmäliger Erwärmung des Aethers wahrnimmt. Es besteht nicht

in dem Aufſteigen von Dampfblaſen durch die Flüſſigkeit; ſondern der Tropfen zerfällt mit Exploſion in eine Menge von Kügelchen, die, wenn ſie ſehr klein ſind, ſich eine Zeitlang auf dem Queckſilber erhalten. Je höher die Temperatur ſteigt, deſto größer ſind die Kugeln, welche ſich erhalten können, und bei 120° etwa verhält ſich der Aether auf dem Queckſilber ganz wie Waſſer auf glühendem Metall. Es greifen alſo beim Aether drei Proceſſe in einander, erſtlich das Streben ſich auf dem Waſſer zu verbreiten, zweitens das Sieden, drittens die Kugelbildung. Die erſte beruht auf einer ſehr ſtarken, die letzte auf einer ſehr geſchwächten Proſaphie zum Queckſilber. Die Grenze beider würde da ſein, wo der Winkel w den Werth von 90° erlangt hat, der Tropfen in der Nähe der Berührungslinie aus der concaven in die convexe Geſtalt übertritt. Aber dieſes kann wegen der aufſteigenden Dampfblaſen nicht beobachtet werden. Der zweite Proceß iſt aber unabhängig von den beiden andren; in niedriger Temperatur iſt es das gewöhnliche Sieden, in höherer iſt es nur eine Zerſprengung des großen Tropfens in kleine, die ſich auf dem mäßig heißen Queckſilber leichter erhalten können. Bei 120° etwa iſt der Sieg der Kugelbildung entſchieden.

Der Weingeiſt verhält ſich ganz wie der Aether, nur treten alle Proceſſe erſt in einer höheren Temperatur ein. Selbſt Waſſertropfen von mäßiger Größe können auf dem beinahe ſiedenden Queckſilber erhalten werden. Unterlagen von feſtem Metall oder von Glas unterſcheiden ſich nicht vom Queckſilber. In allen dieſen Fällen endigt ſich die Erſcheinung beim Abkühlen der Unterlage niemals mit Sieden und Zerfließen des Tropfens, ſondern die Dampfblaſe zerſprengt den Tropfen in kleine, die ſich entweder erhalten oder fortgeſchleudert werden.

§. 104. Die Tropfen bewegen ſich auf dem Queckſilber, ganz wie ein nicht benetzter ſchwimmender Körper auf Waſſer. Zwei Aethertropfen nähern ſich einander und dem converen Rande des heißen Queckſilbers, und dieſes mit ſo großer Schnelligkeit, daß man ſie nur mit Mühe einige Secunden lang auf der Fläche zurückhalten kann.

§. 105. Alle Tropfen haben eine raſche Bewegung um ihren Schwerpunct, welche ſich, wenn die Unterlage nicht ſehr concav iſt, mit einer fortſchreitenden verbindet. Die letzte Bewegung

fällt am meiſten in die Augen. Die erſte erkennt man durch kleine auf dem Tropfen ſchwimmende Theilchen. Beide Bewegungen ſind unweſentlich. Man kann den Tropfen mit einem feſten Körper, ſogar mit der Pipette, aus welcher man ihn fallen läßt, und worin noch etwas Flüſſigkeit zurückgeblieben iſt, feſt halten, er hängt ſich an, wie andere Tropfen, die in gewöhnlicher Temperatur auf weniger adhärirenden Körpern liegen; aber die Art ſeiner Berührung mit der Unterlage wird dadurch nicht verändert.

§. 106. Dieſe Bewegungen ſind eine Folge der Verdampfung. Alle leicht beweglichen Körper, welche einen Theil ihrer Maſſe durch Abfließen, durch Auflöſen oder einen chemiſchen Proceß verlieren, haben eine ſtarke Bewegung, z. B. Kampfer und ölige Samen auf Waſſer, Phosphor auf Queckſilber, Kalium auf Waſſer, das Queckſilber in den galvaniſch-chemiſchen Beobachtungen von Erman, Pfaff, Runge. Da der Tropfen niemals nach allen Seiten gleich viel Maſſe verliert, ſo erleidet er wie die ſegnerſche Reactionsmaſchine einen Rückſtoß und kommt in Bewegung. Je höher die Temperatur und je ſtärker alſo die Verdampfung iſt, deſto ſchneller bewegt er ſich auf dem Queckſilber. Auf allen erhitzten Metallen ändert daher der Tropfen ſeine Lage beſtändig, nimmt die leichten Körper, auf die er ſtößt, Staub, Oxyd, Salz, in ſich auf und läßt ſie bei der Verdampfung als eine Kugel zurück. Eine Salzlöſung rollt anfangs, wie jede andere Flüſſigkeit; aber nur das Auflöſungsmittel verdampft, der Tropfen wird überſättigt und füllt ſich mit ſchwimmenden Salztheilchen. Bald fixiren ſich dieſe an irgend einen Punct der Unterlage, der Tropfen kommt in Ruhe, die Flüſſigkeit verdampft allmälig, ohne eine fortſchreitende Bewegung zu haben, und es bleibt ein Salzkern von kugelförmiger Geſtalt zurück.

Ich habe zuweilen zwei Tropfen, die ſich nicht miſchen, wie Waſſer und Aether, auf das heiße Metall gebracht. Die Tropfen legten ſich an einander und drückten ſich flach, wie zwei Queckſilbertropfen auf feuchtem Glaſe. Nach einiger Zeit verbanden ſie ſich zu einer kugelähnlichen undurchſichtigen Maſſe, die ſtark verdampfte; dem Metall gegenüber aber die Eigenſchaften des leidenfroſtiſchen Tropfens unverändert beibehielt.

§. 107. Queckſilber auf heiße Körper gebracht bleibt rund und verdampft allmälig ohne die heftigen Bewegungen der

Wassertropfen zu haben. Die Prosaphie zu Kupfer und Silber wird dabei bedeutend vermindert. Der Tropfen, der in gewöhnlicher oder mäßig erhöhter Temperatur auf dem Silber zerfließt und sich schnell mit ihm verbindet, behält seine Kugelform nnd seine Beweglichkeit eine Zeitlang bei. Aber bald wird er unbeweglich. An dem Berührungspuncte amalgamirt er sich mit dem Silber, und während das Queckſilber fortdauernd verdampft, zieht sich das Silber an ihm hinauf, macht ihn halbflüssig und endlich bleibt ein kugelähnliches poröses Amalgam zurück, welches einen weit kleinern Raum einnimmt, wie der Queckſilbertropfen. Nimmt man es weg, so sieht man, daß die anfangs sehr kleine Berührungsfläche zwischen Silber und Queckſilber nicht größer geworden ist, seitdem sich der Tropfen fixirte. Es ist hier also eine merkwürdige Verbindung des chemischen Processes und der Prosaphie, die neben einander gehen, ohne merklich auf einander einzuwirken. Durch die chemische Verbindung von Queckſilber und Silber wird ihre Prosaphie nicht vermehrt. Kühlt sich dagegen das Silber, während der Tropfen auf ihm liegt, etwas ab, so zerfließt das Queckſilber, es siedet und amalgamirt sich mit dem Silber, so weit die Berührung reicht. Aehnliches habe ich bei dem Kupfer beobachtet. Nur ist die Amalgamation hier weit schwächer. Gold habe ich nicht untersucht.

§. 108. Auf Glas- oder Porzellanschalen erhitzt, verdampft das Queckſilber ohne aufzuwallen. Dabei werden die Tropfen gewöhnlich flacher. Dieses rührt jedoch nicht von einer Zunahme der Prosaphie her; denn wenn man ihn von dem Orte, wo er fest saß, fortstieß, so nahm er seine Kugelform wieder an; sondern er behielt die Berührungsfläche, die er anfangs hatte, vermöge der Reibung bei und mußte natürlich, da er zum Theile verdampft war, flacher erscheinen als früher.

Brachte man den Tropfen auf reines und schon heißes Glas, so blieb er rund, es entwickelten sich kleine Blasen, die auf seiner Oberfläche schwammen und wahrscheinlich von einer Spur Feuchtigkeit im Glase oder im Queckſilber herrührten, und eine Bewegung in dem Queckſilbertropfen anzeigten, welche mit der Zunahme der Temperatur immer heftiger wurde. Dabei verdampfte der Tropfen und verschwand endlich ganz. Das Queckſilber verhielt sich also auf Glas wie Wasser auf heißem Metall nur mit dem Unterschiede, daß es, wenn man die Schale vom Feuer nahm, sich nicht wie

Waſſer mit Exploſion in Dampf verwandelt, ſondern da es auch in niedriger Temperatur nicht zerfließt, allmälig verdampft.

Dem Zerſpringen der Glas- und Porzellangefäße beugt man bis auf einen gewiſſen Grad vor, wenn man das Queckſilber etwas erwärmt, ehe man es auf die Schale bringt. Indeſſen iſt dieſes keine zum Gelingen des Verſuches nothwendige Bedingung.

§. 109. Aehnliche Erſcheinungen bietet das Löthrohr dar. Die glühenden, geſchmolzenen Metalle, Gläſer oder Salze rotiren auf der Kohle oder dem Platina und würden auch eine fortſchreitende Bewegung annehmen, wenn ſie nicht durch die Vertiefung verhindert würden; ſie verdampfen, wenn ſie flüchtig ſind, zerfließen zuweilen und dringen in die Kohle, und können bei einer höhern Temperatur wieder herausgezogen und zu einer Kugel geſammelt werden. Auch bei den Schmelzproceſſen in Tiegeln und in poröſen Kapellen finden ſich viele Beiſpiele von der mit der Temperatur ſich verändernden Prosaphie.

Wie das Waſſer auf heißem Metall, ſo können auch glühende Körper auf dem Waſſer ſchweben. Glühende Schlacken, die auf Waſſer geworfen werden, ſchwimmen zuweilen, indem ſie eine Vertiefung um ſich bilden. Aber ſo wie ſie kälter werden, benetzen ſie ſich und ſinken unter (Faraday? Lond. Quart. Journ. of Science. 1828. I. p. 221.).

§. 110. Die Umſtände, die bei dieſen Adhäſionserſcheinungen eintreten, ſind den chemiſchen Proceſſen ſehr günſtig, welche auf dem Conflict von Dämpfen und feſten Körpern von hoher Temperatur beruhen, und den Wirkungen, welche Platina und andere Metalle auf mehrere gasförmige Stoffe auch in gewöhnlicher Temperatur ausüben, verwandt. Alle Dämpfe, welche beim Durchſtreichen durch heiße Metall- oder Porzellanröhren zerſetzt werden, werden es auch hier, und alle Producte, die ſich dort bilden, erzeugen ſich auch bei dem leidenfroſtſchen Verſuche. Aether, Alkohol und Oele verdampfen zum Theil unzerſetzt, zum Theil verwandlen ſie ſich in jenes Gemeng organiſcher Säuren und ätheriſcher Stoffe, das man unter dem Namen der Aetherſäure kennt. Auch Schwefelſäure zerſetzt ſich, aber nach N. W. Fiſchers Verſuchen nicht in ſchweflige Säure. Bei andren Körpern iſt keine Zerſetzung, z. B. bei Schwefel, Brom, Queckſilber, Waſſer und bei vielen, freilich nur ſelten bis zu ihrer Siedhitze erwärmten, waſſerfreien Salzen im Löthrohre.

§. 111. Das für die Erklärung des leidenfrostschen Versuches wichtigste Moment betrifft die Temperatur. Aber bei festen Körpern ist sie immer schwer zu beobachten. Sie wird hier überdieses beständig verändert, ist auf verschiedenen Theilen des Apparates von ungleicher Größe, und der flüssige Körper ist gewöhnlich in zu geringer Menge vorhanden. Ueber die Temperatur, bei welcher der in der Kälte netzende Tropfen sich von der Unterlage zurückzuziehen anfängt, d. h. wo der Berührungswinkel $= 90^0$ wird, besitze ich keine genauen Angaben. Sie liegt, das Queckſilber ausgenommen, bei allen Körpern, die man beobachtet hat, weit über die Siedhitze. Die Differenz aber zwischen dem Siedpuncte und der kleinsten Temperatur, bei der sich ein Tropfen erhalten kann, ist verschieden nach der Natur und Quantität der Flüssigkeit. Große Tropfen verlangen eine höhere Temperatur, und wenn sie zerstieben, so erhalten sich kleine Tropfen, ja oft die Bruchstücke der zerstörten Tropfen noch längere Zeit. Beim Aether beträgt die Differenz zwischen der Bildungstemperatur kleiner Tropfen und dem Siedpuncte kanm $50—60^0$. Beim Wasser über 150^0 C.

Man nimmt gewöhnlich an, und Leidenfrost, Ziegler, Klaproth, Johnson haben durch Versuche zu finden geglaubt, daß die Verdampfung abnehme, wenn die Temperatur steigt. Aber hierbei sind zwei wesentlich verschiedene Arten von Verdampfung mit einander vermischt worden, die Verdampfung des rollenden Tropfens auf dem heißen Metall und die Verdampfung oder vielmehr Zertrümmerung des Tropfens, nachdem er sich auf dem erkalteten Metall ausgebreitet hat. Die letzte ist der ersten an Intensität weit überlegen, und je früher sie eintritt, desto größer scheint die Geschwindigkeit der Dampfentwickelung zu sein. Natürlich werden nun die Tropfen auf einer sehr heißen Unterlage, welche sich niemals bis auf jenen Grad abkühlt, langsamer verdampfen, als auf minder heißen Schalen. Wenn man diese aber über einer Lampe in ungefähr constanter Temperatur erhält, so habe ich immer gefunden, daß die Verdampfung und die Rotation mit der Wärme zunehmen.

§. 112. Die Temperatur des Tropfens ist fast unabhängig von der des Gefäßes; sie ist viel niedriger und erreicht nach Döbereiner und Chevalier den Siedpunct entweder gar nicht, oder übertrifft ihn nur wenig. In dieser Beziehung gleicht er

einer siedenden Flüssigkeit, deren Temperatur ebenfalls constant ist, und die Ursache ist auch in beiden Fällen dieselbe, nämlich die Verdampfung. Aber die Quantität von Wärme, welche dem Tropfen zugeführt wird, ist weit kleiner als die bei siedenden Flüssigkeiten. Hier ist die Berührungsfläche der festen und flüssigen Körper gegen die Masse des Flüssigen sehr beträchtlich, und es muß eine große Menge Wassers sich in Dampf verwandlen, um die zugetretene Wärme ganz zu absorbiren. Der Tropfen dagegen berührt den festen Körper nur in einer kleinen Fläche, von der dem unbedeckten Theile der Schale entstralende Wärme trifft den Tropfen nur ein Theil, und dieser wird entweder von dessen spiegelnden Oberfläche reflectirt, oder wenn er eindringt, geht er unabsorbirt hindurch. Nur ein kleiner Theil wird verschluckt und wie bekannt, wird die Wärme von Körpern, durch welche sie geht, in höherer Temperatur in einem weit geringern Verhältnisse absorbirt als in niederer. Es bedarf also auch nur einer verhältnißmäßig geringen Quantität Dampf, um die eingetretene Wärme wieder abzuführen. In höherer Temperatur wird vermuthlich die Berührungsfläche kleiner, und obgleich die Wärmequelle stärker fließt, gelangt dennoch nicht viel mehr Wärme in den Tropfen, der seine Temperatur mit geringen Schwankungen beibehält. Auch kann es sehr wol sein, daß der Tropfen einige Grade über seinen Siedpunct erhitzt ist, ohne zu sieden, d. h. ohne daß der Dampf durch die Masse des Tropfens aufsteigt.

Lichtenberg und nach ihm mehrere andere, glaubten die Erscheinung durch eine Zersetzung des Tropfens erklären zu können. Aber durch Zersetzen entsteht eben so oft Wärme als Kälte und die Entweichung von Gasen würde eben so wenig im Stande sein, die Tropfenform hervorzubringen, als die Elasticität der Dämpfe die siedende Flüssigkeit zu Tropfen macht. Zersetzung ist zuweilen vorhanden; aber sie ist nicht nothwendig, und alles, was die Temperatur betrifft, läßt sich durch die kugelförmige Gestalt des Tropfens vollkommen erklären. Diese Tropfen selbst aber sind in allen ihren Eigenschaften dem Wasser anf öligen Stoffen oder dem Queckſilber so nahe verwandt, daß man bei beiden dieselbe Ursache voraussetzen muß, nämlich eine Prosaphie, welche einen Berührungswinkel herbeiführt, der kleiner ist, als 90°.

§. 113. Die Prosaphie ist also sowohl nach dem leidenfrost-

schen als nach den (§. 98.) angeführten Versuchen in höhern Temperaturen kleiner als in niedrigen. Die Gestalt der Berührungsflächen zweier Körper ist aber von zwei Ursachen bedingt, erstlich von der Synaphie des Flüssigen, zweitens der Anziehung zwischen den heterogenen Körpern, (§. 16.). Die Prosaphie, die wir aus den Beobachtungen ableiten, ist gewissermaßen die Differenz von beiden, und ihr geringer Werth in höhern Temperaturen kann herrühren sowohl von einer Zunahme in der Synaphie des Flüssigen, als von einer Abnahme in der Anziehung der heterogenen Körper. Auch meinte Leidenfrost, daß die Erscheinungen von einer Vermehrung der Cohärenz herrührten. Indessen ist dieses nicht wahrscheinlich. Vermuthlich nehmen beide, die Synaphie sowohl als die Anziehung, ab, aber die letzte in größerem Maßstabe als jene, bis endlich die Flüssigkeit die Fähigkeit zu benetzen ganz verloren hat.

Hierbei ist es jedoch merkwürdig, daß die Temperatur, wo dieses eintritt, beinahe nur von der Beschaffenheit des Flüssigen abhängt, aber keinen Unterschied zeigt, es mag sich in Schalen von Glas oder von Metall befinden.

Man sieht, daß die Erscheinung trotz aller Bemühungen der Physiker noch nicht ganz bekannt ist, und eher wird dieses auch der Fall nicht sein, als bis der Berührungswinkel w für verschiedene Temperaturen und Körper bestimmt ist. Dieses möchte am besten geschehen können, wenn man den Tropfen eine Zeitlang in einer constanten Temperatur auf flüssigen Metallen erhält, und seine Höhe beobachtet.

§. 114. Leidenfrost, Professor in Duisburg, de aquae communis qualitatibus. 1756. p. 30—63. Eine merkwürdige Abhandlung. Er zeigt sich überall in der damals herrschenden Naturphilosophie befangen; seine Speculationen sind daher durchgängig falsch. Aber die Theorie ist, wenn man sich in seine Zeit versetzt, scharfsinnig, die Experimente gut und die Darstellung lebendig und klar. Er hat seinen Nachfolgern wenig zu thun übrig gelassen.

Ziegler De digestore Papini. 1769. In jener Zeit die vorzüglichste Abhandlung über den Dampf. Sehr gelehrt und kritisch, in den Experimenten scharfsinnig, in der Darstellung klar.

Musschenbroek Introduct. in Philos. natur. §. 1460. Er erklärt die Erscheinung unter der Voraussetzung, daß die Verdam-

pfung in dem Losschleudern von Theilchen bestehe, und durch die Centrifugalkraft vermehrt werde.

Lambert Pyrometrie. 1779. p. 130. wendet die in allen seinen Werken herrschenden, etwas ermüdenden und unergiebigen mathematischen Methoden auf Leidenfrosts und Zieglers Versuche an. Er ist ein Physiker und Mathematiker hohen Ranges, scharfsinnig und besonnen. Aber er war weniger originell und von den Vorurtheilen seiner Zeit minder frei als Newton oder Euler, und ausgezeichneter in der Ausführung einer Ansicht als in ihrer Begründung.

Lichtenberg Scherer Allg. Journ. 1801. VII. p. 617. Das Wasser wird zersetzt.

Klaproth ibid. p. 646. Beobachtungen über die Geschwindigkeit der Verdampfung.

Tob. Mayer der Jüngere ibid. Wie bei fast allen physikalischen Arbeiten dieses Mannes sind die Versuche unbedeutend, die Theorie falsch und die Darstellung von jener Breite und affectirter logischer Consequenz, welche Gleichgesinnte mit Gründlichkeit zu verwechseln pflegen.

Rumford Philos. Trans. 1804. p. 15. Das Experiment etwas modificirt.

Oersted Gehlens N. Journ. 1807. III. p. 323.

Pouillet Ann. Ch. Ph. 1827. XXXV. Poggend. Annal. XI. p. 446.

Perkins Poggend. Annal. 1827. XII. p. 316.

Döbereiner Schweigg. Journ. 1820. XXIX. p. 43. Temperatur des Tropfens.

Hazard Sillim. Journ. 1827. XIII. p. 58. Beobachtungen an Dampfkesseln. Er stimmt Perkins Erklärung bei.

Muncke Poggend. Annal. 1828. XIII. p. 234. Einige neue Versuche und ihre Erklärung: Die Adhäsion der Wassertheilchen gegen einander ist kleiner als die gegen das Metall, und da die erste mit dem Eintritt des Siedepunctes aufzuhören anfängt (?), so wird das Wassertheilchen als Dampf mit Ueberwindung des Luftdruckes entweichen, so daß nothwendig bei hoher Temperatur auch die Adhäsion an der Oberfläche des Metalls aufhört. Diese Ansicht soll auf Laplace's Theorie über die Repulsion der Wärmetheilchen beruhen.

W. R. Johnson Sillim. Journ. 1831. XXI. p. 31. 314.

Eine Menge von Versuchen über die Verdampfung von Wasser aus heißen Kesseln, mit Beziehung auf Dampfmaschinen. Seine Apparate sind nicht zweckmäßig, seine Beobachtungen sind nicht genau, seine Schlüsse nicht streng.

N. W. Fischer Pogg. Annal. 1831. XXI. p. 163 und mündliche, interessante Mittheilungen. Mehrere neue Versuche.

Lechevalier Journ. de Pharm. 1830. und Dingler Polyt. Journ. 1831. XXIX. p. 371. Temperatur der Tropfen. Seine Theorie ist ungenügend und seine Versuche nach Berzelius Urtheil ungründlich.

H. Buff Pogg. 1832. XXV. p. 591. Einige Versuche.

Kastner Grundzüge der Physik und Chemie. 1832. I. p. 234. Mit heißem Wasser gefüllte Porzellan- oder Glas-Gefäße, in kaltes Wasser getaucht, adhäriren nicht, sondern bilden im Wasser eine Höhlung um sich. Dieses ist jedoch nicht der leidenfrostsche Versuch. Das Gefäß war unstreitig nicht benetzt, und dann ist's auch in der Kälte so. Die Wärme hat nur das Trocknen erleichtert.

IV. Ausbreitung einer Flüssigkeit auf der Oberfläche eines andren Tropfens.

Tropfenbildung.

§. 115. Ein Tropfen von Wasser oder einer andren Flüssigkeit, auf Glas oder Metall gebracht, nimmt eine Gestalt an, die von seinem Gewichte und seiner Prosaphie abhängig ist. Wird das Glas an der Berührungsfläche von dem Tropfen benetzt, so kann sie nicht ohne einen gewissen Kraftaufwand verändert werden, und die Höhe des Tropfens kann viel kleiner, aber auch etwas größer sein, als wenn er auf der Tafel vollkommen beweglich wäre, und die seiner Prosaphie zukommende Normalhöhe annehmen könnte. Gewöhnlich ist sie zu klein, weil die auf der Fläche sich ausbreitenden Theile sich noch zu bewegen fortfahren, wenn schon die Kraft, die sie in Bewegung gesetzt hatte, zu wirken aufhört; wie ein geworfener Ball seinen Lauf fortsetzt, nachdem er die Hand oder das Geschütz verlassen hat. Einmal ausgebreitet, kehrt aber der Tropfen nicht auf eine schmalere Basis zurück, weil die benetzte Fläche

sich gegen ihn nicht mehr wie Glas, sondern wie eine fest gewordene Wasserschicht verhält.

Um den Widerstand des Tropfens gegen die Verbreitung auf einer Fläche zu überwinden, muß man entweder seinen Druck vermehren, oder man muß die Tafel neigen. Je geringer die anzuwendende Kraft ist, für desto leichter netzend wird die Flüssigkeit gehalten und man könnte die Intensität des Benetzens wie die Reibung durch den Winkel schätzen, um welchen die mit einem Tropfen von gewissem Volumen bedeckte Tafel geneigt werden muß, wenn der Tropfen sich auf der Tafel fortbewegen soll. Hierbei findet sich, daß unter den das Glas benetzenden Flüssigkeiten sich der Aether, Alkohol, die Oele, auch die Arsenikbutter viel leichter ausdehnen, als Wasser, Salzlösungen, Schwefelsäure und Kali. Ob die Reihenfolge mit derjenigen für eine Synaphie genau übereinkommt, habe ich noch nicht untersucht, Doch hatte die Schwefelsäure auf dem Glase eine weit stärkere Wölbung, als wenn sie auf Quecksilber oder Wasser gebracht wurde.

Aus der Trägheit sich über eine unbenetzte Fläche zu verbreiten, entspringt das von Stratford (Pogg. Annal. 1828. XIV. p. 44.) und Camelli (Feruss. Bullet. mathem. 1829. p. 247. aus Giorn. arcad. 1828.) beschriebene Herabgleiten eines unten benetzten, convexen Glasstückes auf einer geneigten Fläche, welches, wie alle Bewegungen, wo die Ursache nicht genau central wirkt, mit einer Rotation verbunden ist.

§. 116. Bei leicht netzenden Flüssigkeiten werden die Tropfen zuweilen zu einer sehr dünnen Schicht, welche durch die Verschiedenheiten in ihrer Dicke von dem Umfange nach dem Centrum hin und durch die Veränderungen, die Verdampfung und chemische Processe in ihr herbeiführen, die Reflexionsfarben der newtonischen Ringe in großer Mannigfaltigkeit und Schönheit hervorbringt, und viele Beobachter angeregt hat. Dessen ungeachtet ist diese Erscheinung, eine der interessantesten in der Cohärenz, noch wenig bekannt.

Bei festen Körpern wirken die Unebenheiten der Oberfläche, durch die Reibung, die sie hervorbringen, und durch die fremden Stoffe, die sie verbergen, nachtheilig auf die Ausbreitung der Tropfen, die sich leichter auf der Oberfläche von Flüssigen studiren lassen. Unter diesen ist das Quecksilber durch sein hohes specifisches Gewicht und

die Trägheit seiner Bewegungen beinahe eben so passiv gegen die Veränderungen der Tropfentheile, wie eine feste metallische Unterlage. Die übrigen Flüssigkeiten greifen jedoch auf doppelte Weise in die Bildung der Tropfen auf ihrer Oberfläche ein; erstlich durch das Bestreben, sich mit ihnen in ein hydrostatisches Gleichgewicht zu setzen, zweitens durch ihre Cohäsion. Poisson hat die allgemeinen Formeln des Gleichgewichts bei dem auf einer andren Flüssigkeit liegenden Tropfen für gewisse Fälle berechnet, zu welchen jedoch der sehr gewöhnliche Fall einer großen Ausbreitung nicht gehört. (Nouvelle Theorie de l'action capill. p. 241.)

§. 117. Nach den Beobachtungen, die von mir selbst uud von andren angestellt sind, zerfallen alle Combinationen zwischen zwei Flüssigkeiten, die sich benetzen, in zwei Klassen. In der ersten hat die obere Flüssigkeit (b) ein stärkeres Streben sich auszubreiten; in der zweiten hat es die untere (a). In dem letzten Falle behält b seine Tropfenform auf der Schicht a bei. In dem ersten dagegen verbreitet sich der Tropfen auf der untern Schicht, und die einmal fortgleitenden Theile gehen dann weit über die Grenze hinaus, die sie in einem Tropfen von normaler Höhe haben würden.

Wenn diese zwei Flüssigkeiten mit einander in Berührung kommen, so wird zwar ihr Berührungswinkel unverändert bleiben, es mag die mehr oder die minder bewegliche zur untern Schicht werden; aber die Art der Tropfenbildung ist sehr verschieden. In dem einen Falle scheint ein tropfenförmiger fester Körper in einer flüssigen Schicht zu schwimmen; in dem andren ein flüssiger Tropfen sich über eine feste Schicht zu verbreiten. Die Grenze beider Klassen wäre da, wo beide Schichten eine völlig gleiche Beweglichkeit haben. In der That findet man auch, wenn der Unterschied klein ist, z. B. bei Wasser und Salzlösungen in keiner Stellung eine starke Ausbreitung. Sind a und b homogen, kommt also ein Tropfen Wasser auf eine Wasserschicht, so wird er einsinken und verschwinden; oder wenn die Schicht selbst sehr dünn ist, über sie hinfließen. Zuweilen wird er wie ein elastischer Körper reflectirt, verbindet sich aber dennoch endlich mit der Wasserschicht auf eine Weise, die sehr verschieden ist von der eines heterogenen Tropfens. Dieser wird auf der Unterlage flach gedrückt; bei jenem stellt sich das Gleichgewicht wie bei einer Welle her.

Das specifische Gewicht ist hierbei nur in so fern von Einfluß, als die Beobachtung erleichtert wird, wenn der Tropfen aus einem

leichteren Stoffe besteht als die Schicht. Ist der Unterschied der Gewichte nicht zu groß, so kann ein schwererer Tropfen selbst von beträchtlicher Größe schwimmend erhalten werden, und zwar um so leichter, je größer seine Ausbreitung ist.

§. 118. Flüssigkeiten, welche eine physische Verbindung mit einander eingehen, verhalten sich gegen einander auf eine, zwischen derjenigen der homogenen und der heterogenen Körper stehende Art. Selten geht jedoch die Verbindung so schnell von Statten, daß man nicht vorher die von der Tropfenbildung abhängigen Erscheinungen wahrnehmen könnte. So verbreitet sich der Alkohol auf dem Wasser, ehe er sich mit ihm verbindet, und die starke Ausbreitung eines Tropfens von Aether oder ätherischem Oele auf Wasser wird von ihrer Auflöslichkeit gar nicht gestört.

Auf eine ähnliche Weise wirkt der chemische Proceß. Nur wo er sehr kräftig ist, wie zwischen Säuren und Alkalien, wird die Verbindung ganz verhindert, aber auf Queckſilber bewegen sich die Säuren so stark wie Oele, ehe sie chemisch wirken, und selbst die so leicht zersetzbare Arsenikbutter hat sich schon auf Wasser und Queckſilber verbreitet, ehe sie zerstört wird.

§. 119. Die Oele verändern sich größtentheils an der Luft. Sie nehmen Sauerstoff auf, und verlieren ihre Beweglichkeit. Der Luft in größeren Massen ausgesetzt, verlangt diese Umwandlung eine geraume Zeit, aber durch die große Ausbreitung auf der Oberfläche der untern Schicht wird sie sehr beschleunigt. Kaum haben sich die Oele ausgebreitet, so ziehen sie sich schon zusammen, bald in Tropfen, die einzeln oder durch Oelfäden verbunden, auf der untern Schicht schwimmen, bald in ein Netzwerk, dessen Maschen aus Gasblasen bestehen. Jedes Oel zeigt in diesen Gebilden etwas eigenthümliches. In allen Fällen scheint aber eine dünne Haut zurückzubleiben, die zuweilen noch durch ihre Färbung kenntlich ist, zuweilen aber selbst für die ersten Glieder der newtonischen Farbenreihe zu dünn ist, aber ihr Dasein und eine von der des Oels verschiedene Beschaffenheit dadurch anzeigt, daß ein neuer Tropfen desselben Oels sich gegen die Haut, wie einen heterogenen Körper verhält, und sich nur sehr wenig oder gar nicht auf ihr verbreitet. Eine solche dünne Haut bildet sich auf dem Queckſilber auch durch Aether und bleibt ungeachtet seiner großen Flüchtigkeit noch Tage lang kenntlich. Diese Schichten sind vielleicht ein Product der Zer-

setzung des Aethers, welche auf eine der Wirkung des Platins auf Aether- und andere Dämpfe ähnliche Weise eingeleitet sein kann.

§. 120. Die Flüchtigkeit des Stoffes trägt viel zu Abflachung des Tropfens bei und zwar auf doppelte Weise. Erstlich indem sich die Flüssigkeit von der Mitte nach dem durch Verdampfung trockener werdenden Rande begiebt. Hierdurch behält der Tropfen zwar seine Basis, wird aber stark erniedrigt. Man sieht dieses sehr deutlich bei Wasser- oder Weingeisttropfen auf Glas oder auf porösen Stoffen. Ein Minimum von einem nicht flüchtigen Bestandtheile häuft sich weit stärker an dem Umfange des Tropfens als in der Mitte an, und bleibt nach gänzlicher Verdampfung der Flüssigkeit zuweilen als ein schwach gefärbter Ring zurück.

Zweitens vermindert die Flüchtigkeit einen Proceß, von dem ich in dem folgenden Abschnitte sprechen werde, nämlich die Präcipitation eines Dampfes ehe er noch das Maximum seiner Elasticität erreicht hat. So wird das Queckſilber den Dunst von Aether niederschlagen und dadurch zur Aufnahme von flüssigem Aether geeigneter werden. Bei sehr stark verdampfenden Körpern, wie Aether, Ammoniak, Salzsäure, setzt sich der Dampf als eine dünne Haut sogar dann schon auf der Oberfläche des Queckſilbers ab, wenn auch die Flüssigkeit das Metall gar nicht berührt hat.

§. 121. Eine höhere Temperatur beschleunigt in der Regel die chemischen Processe, erleichtert die physischen Verbindungen, vermehrt die Flüchtigkeit und modificirt auch die Cohäsion unmittelbar. Ihre vornehmste Einwirkung auf die Bildung der Tropfen scheint aber in einer Verminderung der Hindernisse zu liegen, welche die Verbreitung des Tropfens verzögern. (Siehe unten Cohärenz der Flüssigen, Bewegung.) Es ist daher wahrscheinlich und wird auch durch einige Beobachtungen bestätigt, daß eine höhere Temperatur die Verbreitung befördert, wenn sie auch auf die Höhe des normalen Tropfens nur einen untergeordneten Einfluß hat. Daß diese Beschleunigung nur bis zu einer gewissen Grenze stattfinden kann, geht aus dem leidenfrostischen Versuche (§. 103.) hervor.

§. 122. Eine merkwürdige Analogie mit den flüssigen Körpern, die sich auf der Oberfläche von Queckſilber, Wasser u. s. w. verbreiten, bietet sich bei mehreren festen Körpern dar. Ein Tropfen flüssiges Oel bewegt sich sehr leicht auf Wasser und läßt dann

eine dünne Haut zurück. Dasselbe ist der Fall bei ölhaltigen Samen, Mehl, öligen thierischen Theilen und dergleichen, aus denen das Oel sich auf die Flüssigkeit hinzieht. Aber eben so wie das flüssige Oel wirkt auch der Kampher und der Phosphor. In etwas erhöhter Temperatur bringen Schwefel und viele Metalle auf dem Queckſilber oder geschmolzenen Blei ähnliche Erscheinungen hervor; obgleich die Temperatur noch weit unter dem Schmelzpuncte des sich verbreitenden Körpers steht. In der Regel wird zwar der feste Bestandtheil von der Unterlage etwas aufgelöst und es könnte sein, daß nicht er selbst, sondern nur seine Auflösung sich über die Oberfläche hinzieht; aber Phosphor, Schwefel und Kampher lösen sich, so viel man weiß, in dem Queckſilber nicht auf.

Relative Stärke der Ausbreitung, Reihenfolge.

§. 123. Alle diese Wirkungen sind auf die Oberfläche beschränkt. Ein Tropfen Oel breitet sich mit großer Schnelligkeit aus, dringt aber nicht merklich in das Innere ein. Aus einem Stück Papier, das mit einem ätherischen Oele getränkt und einem Steine beschwert ist, oder aus Nelkenöl, das in Wasser unterſinkt, geht kein Theilchen mehr auf die Oberfläche des Wassers über, sobald das Oel ganz unter Wasser ist. Erst wenn es die zweite Oberfläche erreicht hat, kann sich der Vorgang erneuen.

Hier sind die Erscheinungen complicirter. Der Tropfen, den ich mit c bezeichnen will, kommt in Conflict mit zwei Körpern a und b, von denen b immer flüssig ist, a fest oder flüssig sein kann. Wenn b in einer Schicht auf a verbreitet ist, so kann c natürlich erst dann mit a in Wechselwirkung treten, wenn b durchbrochen ist. Aber dieses setzt eine mechanische Kraft voraus, die c, selbst wenn b sehr dünn ist, nicht immer besitzt. Wenn c kein größeres Streben sich zu verbreiten hat als b, so wird es, auch wenn es a erreicht hat, als Tropfen liegen bleibt. Ist aber c in dieser Beziehung kräftiger, als b, so wird er sich zwischen b und a eindrängen und wenn b nicht zu dick ist, es ganz nach den Rändern des Gefäßes hin vertreiben und sich selbst über a hin ausdehnen. So werden auf dem Wasser die fetten Oele von den ätherischen, diese vom Aether verdrängt.

§. 124. Eine Modification desselben Vorganges wird beobachtet, wenn man einen Tropfen auf eine dünne in einer Schale

verbreitete Schicht von einer andren Flüssigkeit, z. B. einen Oeltropfen auf eine Wasserschicht bringt. Das Wasser wird zurückgetrieben und sammelt sich um das Oel in einem Ringe an. Wäre die Schicht dagegen von Oel und der Tropfen von Wasser, so bleibt er ruhig auf dem Oele liegen. Eben so verhält sich Wasser zum Alkohol.

Bei den Beobachtungen an Haarröhren und Adhäsionsplatten hat man oft Gelegenheit, den Conflict zweier Flüssigkeiten zu beobachten. Hatte sich etwas Oel in der Röhre befunden, so war es unmöglich, Wasser und Salze damit zu beobachten, dagegen war es leicht den Capillarstand von Oelen in wasserfeuchten Röhren zu bestimmen, indem das Wasser durch das Oel von dem Glase abgedrängt wurde. Das Oel dagegen wurde zuweilen vom Weingeist vertrieben, und da dieser sich leicht mit Wasser mischt, so konnten Röhren, die Oel enthalten, wiederum brauchbar gemacht werden. Bekanntlich kann man keinen ölnassen Körper durch Wasser reinigen. Kommt Wasser, dem Oel beigemengt ist, an Glas, so hängt das Oel sich sogleich an.

Der Seifenschaum besteht wie ich §. 75. zeigte aus einem nach gewissen Regeln geordnetem Aggregate von Wasser und ungelöster Seife. Ein Tropfen Weingeist oder Terpentinöl zerstört den Schaum, so weit sie ihn erreichen. Noch stärker wirkt der Aether. Dagegen haben Salze, welche ihn nicht chemisch zersetzen, eben so wenig einen Einfluß auf ihn, wie Wasser selbst. Auch Baumöl wirkt sehr schwach oder gar nicht. Ohne Zweifel wird das Wasser durch die leicht sich verbreitende Flüssigkeit von den festen Seifentheilen entfernt, und so die Blasen gesprengt. Das Baumöl konnte das Wasser auch von andren festen Körpern nicht verdrängen.

Auch zwei feste Körper werden durch Eindringen einer Flüssigkeit von einander getrennt. Wenn Oel oder Weingeist sich auf Glas verbreiten, so werden die bisher an dem Glase haftende Staubtheilchen weggeschoben. Ein anderes Beispiel habe ich oben angeführt (§. 100.), wo das Wasser eine Rußdecke von erhitztem Silber drängte. Aehnliche Fälle sind zwar bis jetzt nur wenig beachtet, kommen aber nicht selten vor.

§. 125. Ueber die Kraft, mit der zwei flüssige Körper an der Oberfläche eines festen auf einander einwirken, hat man viele Beobachtungen angestellt. Folgendes sind die wichtigsten Resultate:

1) Wenn eine Flüssigkeit d eine andere e verdrängen kann, und diese eine dritte b verdrängt, so wird auch b von d verdrängt werden. Die Flüssigkeiten bilden daher in Beziehung auf eine gewisse Unterlage eine Reihe, in der die frühern Glieder stets von den spätern verdrängt werden. An der Spitze steht das Wasser. Jedoch ist, um die Wirkung zu zeigen, schon ein Unterschied von gewisser Größe nothwendig und zwei in der Reihe benachbarte Oele oder Salze haben keine merkliche Einwirkung auf einander. Auch durch eine kräftige chemische Wirkung oder ein Streben nach einem physischen Gleichgewichte wird der Erfolg etwas modificirt.

2) Die Reihenfolge ist fast unabhängig von der Beschaffenheit der Unterlage und übereinstimmend mit der, welche aus dem Verhalten einer Flüssigkeit (§. 117.) abgeleitet werden kann. Man hat bei Versuchen auf Glas, Quarz, Gyps, Marmor, Alaun, Kochsalz, Gummi und selbst Metallen keinen beträchtlichen Unterschied wahrgenommen. Auch bei Flüssigen sind die Reihen ihren Hauptpuncten nach parallel, wenn auch in einzelnen Fällen hin und wieder Unterschiede vorkommen. Auf dem Wasser werden z. B. die fetten Oele von den ätherischen verdrängt, auf Queckſilber, wo überhaupt die Bewegungen träger sind, werden sie es nicht. Auf Wasser verbreitet sich der Milchsaft der Euphorbien schneller als die Oele, auf Queckſilber ist es umgekehrt. Indessen sind die Versuche auf Unterlagen von Flüssigkeiten, die nicht wie Wasser und Queckſilber an der Grenze der Reihe stehen, sondern mehr nach der Mitte hin, bis jetzt noch zu wenig zahlreich, um auch bei ihnen über die Anordnung der Reihe entscheiden zu können.

3) Das Queckſilber verdrängt das Oel vom Blei, und hat auf geschmolzenem Blei eine kräftige Bewegung.

4) Die Haut, welche feste Körper, wie Kampher, Phosphor, bilden, verhält sich ganz wie die aus flüssigen Stoffen entstandene. Sie wird vom Aether verdrängt und vertreibt einige minder leicht sich verbreitende Oele.

§. 126. Die mittlere Reihenfolge der Körper nach der Leichtigkeit, mit der sie sich verbreiten, ist nach Fusinieri folgende:

Schwefelkohlenstoff, Aetherische Flüssigkeiten, Alkohol, Terpentinöl, flüchtige Pflanzenöle.

Kalium, Kampher, Phosphor.

Harzwasser, Steinöl, fette Oele, Balsamarten, Terpentin, Thran.

Schwefel.

Zink, Antimon, Wismuth, Eisen, Kupfer, Darcet's Legirung, Zinn, Blei, Quecksilber, Silber, Gold, Platina, Kupfer.

Salpetersäure, Salpetrige Säure, Chlorsäure, Schwefelsäure, Blausäure, Phosphorsäure, Salzsäure, Schweflige Säure, Flußsäure, (Hydro?) Bromsäure, Jodsäure, Benzoesäure, Arsenikſäure, Arsenigsäure, Kleesäure, Weinsäure, Essigsäure.

Salpetersaures Silber, -Kupfer, -Quecksilber.

Die Salzlösungen nach der Ordnung der Säuren, desto stärker, je gesättigter sie sind.

Getraide, Mehl.

Eisenoxydhydrat, Eisenoxyd, Silberoxyd.

Lösungen von Seife, Amoniak, Kali, Natron.

Wasser.

§. 127. Diese Reihe ist im Einzelnen nicht zuverlässig. Schwefel und Metalle sind bloß bei erhöhter Temperatur und unter ganz andren Umständen beobachtet, als die Mehrzahl der übrigen Stoffe. Die Anordnung ist ferner viel zu systematisch, indem die Lösungen von Säuren, Salzen und Alkalien keineswegs so auf einander folgen, sondern sich kreuzen. Ferner sind alle Angaben von Fusinieri, die nicht unmittelbar aus den Beobachtungen hervorgingen, bei der Grundlosigkeit seiner theoretischen Ansichten nur mit großem Mißtrauen aufzunehmen. Aber seine Versuche verdienen Vertrauen und die Reihe stimmt auch mit denen andrer Beobachter, so weit diese gingen, ziemlich gut überein. Die ersten Glieder stimmen genau mit der specifischen Synaphie. Wasser ist auch hier an der Grenze der Reihe. Die Säuren und Alkalien stehen zwischen beiden. Was die Anordnung der wässrigen Lösungen gegen einander betrifft, so kann sie, wie gesagt, nicht genau sein; denn die Unterschiede sind so schwach und die störenden Momente so kräftig, daß die Reihe schon durch eine Variation in der Dichtigkeit etwas abgeändert wird. Wir dürfen daher für wahrscheinlich halten:

daß die Intensität, mit der sich ein Tropfen einer Flüssigkeit zu verbreiten strebt, um so größer werde, je kleiner die specifische Synaphie ist.

Daß das Quecksilber das Oel vertreibt und sich auf Unterlagen, die es benetzt, verbreitet, stimmt recht gut mit seiner geringen specifischen Synaphie überein (§. 34.).

§. 128. Die Unterlagen, wenigstens, wenn sie nicht innerhalb der Reihe stehen, sind auf die relativen Stellungen der Körper ohne bedeutenden Einfluß. Dieses kann nur sein, entweder weil der Einfluß der Unterlage überhaupt nur unmerklich ist, oder weil er in seinen Gesetzen ebenfalls der Synaphie folgt und wenn sie steigt, die Verbreitung verzögert. Das erste ist unwahrscheinlich, die zweite Bedingung, daß die Prosaphie eines flüssigen Körpers zu einem festen, oder zu Wasser und Quecksilber mit der Zunahme der Synaphie abnehme, scheint also innerhalb derselben Grenzen, wie das §. 127. angeführte Gesetz seine Anwendung, zu finden.

§. 129. Die oft aufgestellte Ansicht, daß zwischen dem Verbreiten der Flüssigkeiten und der chemischen Affinität eine nahe Beziehung statt finde, wird daher durch die Beobachtungen nicht bestätigt. Sie modificirt die Erscheinungen, wie sie unter andren Umständen auf den Proceß der Dampfbildung oder des Schmelzens Einfluß hat; aber diese Wirkung ist nur mittelbar und zufällig. Die Gesetze, nach denen sich die Tropfenbildung richtet, haben mit der chemischen Anziehung der Körper nichts gemein.

Auffallender aber als diese Trennung von Chemismus und Cohäsion ist der Mangel an Zusammenhang zwischen der Prosaphie und dem Streben nach einer physischen Verbindung, obgleich diese, wie ich in dem Abschnitte von der Diffusion zeigen werde, durch die bloße Cohärenz von einander getrennt werden können. Alkohol und einige Oele sind in dem specifischen Gewichte, in ihrer Synaphie, in dem Streben, sich auszubreiten, nur wenig verschieden; es sollte daher auch zwischen der Fähigkeit beider Körper sich physisch mit andren Flüssigkeiten, z. B. dem Wasser zu verbinden, eine Uebereinstimmung statt finden. Aber, wie bekannt, mischt sich der Alkohol mit dem Wasser in jedem Verhältnisse, und das Oel nur sehr wenig. Auf diese Verbindungen wirken also noch andre Kräfte ein, als die Cohäsion, vielleicht in Wärme, die so entscheidend bei Auflösungen, so untergeordnet in der Synaphie und Prosaphie auftritt.

Veränderung des Siedpunctes durch die Prosaphie.

§. 130. Auf eine interessante Weise tritt die Cohäsion der flüssigen Körper bei dem Sieden auf. Der normale Sied-

punct ist die Temperatur, bei welcher die Elasticität des Dampfes dem Drucke der Atmosphäre gleich ist, ist also, wenn die Atmosphäre sich nicht verändert, ganz constant. Für die am Boden des Gefäßes befindlichen flüssigen Theile ist der Siedpunct um eine kleine, von der Tiefe der flüssigen Masse abhängige Größe höher, als an der Oberfläche. Diese Temperatur sollte eine an freier Luft erhitzte Flüssigkeit nicht überschreiten können. Aber in Gefäßen von Glas, Porzellan und in geringerem Grade auch bei Metallen beginnt das Sieden bei einer höheren Temperatur; durch Sand-, Holz- oder Metallspäne, die man in die über den normalen Siedpunct erhitzte Flüssigkeit wirft, kann man es beschleunigen. Die Temperatur sinkt aber alsdann auf den normalen Siedpunct herab. Eben so wie eine übersättigte Salzlösung oder das Wasser und andre Flüssigkeiten, die unter ihren Frierpunct erkaltet sind, von einem kleinen Krystalle schnell zum Krystallisiren gebracht und dabei bis auf den normalen Frierpunct erwärmt werden.

Die Differenz zwischen dem normalen Siedpuncte und demjenigen, bei dem das Sieden in Glasgefäßen beginnt, ist bei verschiedenen Flüssigkeiten von ungleicher Größe. Bei Wasser und Salzlösungen ist sie nur $3—5^0$, bei Alkohol, Oelen und concentrirter Schwefelsäure 10^0 und mehr. Bei Aether kann sie 30^0 und darüber betragen.

§. 131. Da Späne und Sandkörner das Sieden beschleunigten, so sah man auch hier ein Beispiel von jener Wirkung der Spitzen, die zwar bei der Vertheilung der Elektricität durch die Theorie begründet ist, aber in keiner einzigen andren Naturerscheinung eine Realität besitzt, weder in der Bildung der Krystalle, noch in der Verbindung der Gase durch Platin. Eine Klebrigkeit des flüssigen Körpers ist ohne Einfluß auf die Entstehung des Dampfes; auch könnte sie wol die Differenz bei Oelen oder Schwefelsäure erklären, aber nicht bei Alkohol und Aether, die nach der gewöhnlichen Annahme für höchst leichtflüssig gehalten werden. Nur die Geschwindigkeit, mit der die entstandenen Dampfblasen aufsteigen, ist bis auf einen gewissen Grad von ihr abhängig. Folgendes ist wahrscheinlich die Ursache:

Der Dampf bildet sich niemals in dem Innern der flüssigen Masse, sondern nur an der Oberfläche. An der freien Oberfläche entwickelt sich der Dampf, ohne daß man ihn gewöhnlich sehen kann.

In der Entwickelung von Dampfblasen an der gemeinschaftlichen Oberfläche der Flüssigkeit und des Gefäßes besteht das Sieden. Der Dampf hat aber hier außer der Kraft, mit der die Luft und die flüssige Masse drücken, auch noch die Adhäsion zwischen der Flüssigkeit und dem Gefäße zu überwinden. Die Elasticität, die er bei dem normalen Siedepunct besitzt, reicht also zu seiner Bildung nicht hin; die Temperatur muß steigen und ihre Differenz von dem normalen Siedpuncte um so stärker sein, je größer die Adhäsion ist. Bringt man in den Aether kleine spitze oder runde Körper, die trocken sind, so hat der Aether an ihnen keine Adhäsion zu überwinden, und es entwickeln sich Blasen. Dieses dauert so lange fort, als die Theilchen sich nicht mit dem Aether vollkommen benetzt haben. Sobald dieses geschehen ist, hört die Wirkung auf. Auch haben vor der Erwärmung hineingebrachte Körper keinen merklichen Einfluß auf den Siedpunct. Bei Metallen ist die Differenz kleiner. Ob dieses von einer geringern Prosaphie der Flüssigkeiten gegen Metalle als gegen Glas herrührt, läßt sich, da alle Versuche hierüber fehlen, nicht entscheiden. Daß die Tropfen sich schneller auf Wasser als auf Quecksilber bewegen, scheint zwar dafür zu sprechen, ist jedoch, da das Quecksilber auch weit schwerer ist als Wasser, nicht entscheidend. Vielleicht hat die größere Wärmeleitung des Metalls die Wirkung, daß die damit in unmittelbarer Berührung stehenden flüssigen Theile sich erhitzen und den Dampf entwickeln. Rauh ist die Oberfläche der Metalle nicht mehr als Glas und weniger als viele Porzellangefäße, welche das Sieden eben so gut verzögern, wie die glättern.

§. 132. Desto genauer stimmt aber das Verhalten verschiedener Flüssigkeiten mit unsrer Erklärung überein. Denn der Siedpunct wird um so höher gerückt, je stärker ihre Anziehung zum Glase, je schwächer ihre Synaphie ist. Bei Wasser, das die größte Synaphie hat, ist der Unterschied am kleinsten. Bei Aether ist er am größten. Von diesem Grunde rühren auch die bedeutenden Verschiedenheiten her, welche einige mit dieser Erscheinung unbekannte Chemiker in dem specifischen Gewichte von Aetherarten und Oelen gefunden haben, indem man bloß durch eine Abänderung des Gefäßes und der Flamme alle Temperaturen finden kann, die zwischen dem normalen Siedpuncte und dem durch die Adhäsion erhöhten liegen. Je höher die Temperatur geworden ist,

desto tumultuarischer entwickelt sich der Dampf; denn einmal entstanden, hat er in seinem Aufsteigen keine andre Schwierigkeit zu überwinden, als den Druck der Luft, und entwickelt sich um so rascher und schleudert um so mehr flüssige Theile in die Höhe, je länger er zurückgehalten war. Ist die gewöhnlich durch Beimengung von festen Theilen entstehende Klebrigkeit sehr groß, so können sich die Dampfblasen nicht entfernen. Sie halten sich lange im Innern der Flüssigkeit auf und vermehren als Schaum das Volumen der Masse oft um das Vielfache.

Absorbirte Gase, als Kohlensäure, Sauerstoff, verhalten sich ganz wie Dämpfe; auch sie entwickeln sich nur an der Oberfläche und werden in den Flüssigkeiten von geringer Synaphie länger zurückgehalten.

Bewegungen, welche bei der Bildung der Tropfen entstehen.

§. 133. Ein auf Queckſilber oder Wasser gebrachter Oeltropfen dehnt sich nach allen Seiten mit gleicher Stärke aus. Die schwimmenden Theilchen werden daher nach dem Rande gedrängt; aber die Mitte des Tropfens bleibt beinahe in Ruhe. Bringt man ein mit Aether getränktes Stückchen Zucker, geöltes Papier, ölige Samen, oder wo der Vorgang am deutlichsten ist, eine Flaumfeder, die an einer Seite geölt, an der andren rein ist, auf's Wasser, so hört die Gleichförmigkeit der Verbreitung auf, und die Feder bewegt sich von der Seite ab, wohin die Ausbreitung des Oeles am stärksten ist. Mit der fortschreitenden Bewegung verbindet sich hier, wie gewöhnlich, eine rotatorische. Beide sind von vielen Zufälligkeiten abhängig und sehr unregelmäßig. Weil man sie zuerst an stark riechenden Oelen beobachtet hatte, so schrieb man sie dem Aufsaugen und Ausströmen eines Riechstoffes zu, wie Draparnaud, P. und B. Prevost. Aber schon Venturi und Caradori erklärten sie ganz richtig durch den Gegenstoß, den ein Körper erleidet, der nach den diametral entgegengesetzten Richtungen nicht mit gleicher Intensität wirkt, und der in allen ähnlichen Fällen, in dem Gebiete der Prosaphie z. B. bei den Tropfen im leidenfrostschen Versuche, eine Bewegung hervorbringt.

Wenn man auf einen Wassertropfen, der auf Queckſilber oder Glas liegt, Aether bringt, so umfließt dieser schnell das Wasser und

sucht sich auf dem Wasser zu verbreiten; die auf dem Wasser schwimmenden Körperchen werden mit großer Heftigkeit bald hierhin bald dorthin gestoßen, und erst wenn die Verbreitung vollendet ist, kehren sie zum Theil auf ihren frühern Standpunct zurück. Da aber der Aether verdampft und dann wiederum von dem Orte aus, wo er noch in größerer Menge ist, sich zu verbreiten sucht, so kommen die Theilchen erst nach langer Zeit in Ruhe.

§. 134. Diese Bewegungen sind es auch, welche der Botaniker Brown bei mikroskopischen Untersuchungen von zerdrücktem Samen und andren harzigen und öligen Stoffen fand. Ihre Unregelmäßigkeit wurde anfangs mit Willkür verwechselt, und man glaubte in ihnen die längst gesuchten Elemente der organischen und selbst der anorganischen Körper entdeckt zu haben. Indessen ist diese Unregelmäßigkeit bei dem Conflict so vieler bewegender Ursachen sehr natürlich, indem zu der Verbreitung der öligen Theile auf dem Wassertropfen auch die Anziehungen und Abstoßungen schwimmender Körper und die Veränderungen, welche die Bewegung der Luft und die Verdampfung hervorbringt, hinzutreten. Von den letzten Ursachen hängen auch die Bewegungen ab, welche man unter dem Mikroskope in erdigen und kieseligen Staubtheilchen wahrnimmt, aber mit weit geringerer Intensität als in öligen.

§. 135. Hier war es gewöhnlich, wenn nicht Oel oder Aether selbst, doch ein damit benetzter fester Körper, von dem die Bewegung ausging. Aber es bewegen sich auch feste Körper, wie Kampher, Phosphor und andre, ganz auf dieselbe Weise. Am genauesten hat man die Bewegung des Kamphers beobachtet. Bringt man ein kleines Stück Kampher auf Wasser, Salzlösungen, Säuren, Queckſilber, selbst auf Kreosot, obgleich ihn dieser in Menge auflöst, so bewegt er sich sehr heftig und unregelmäßig. Nach einiger Zeit pflegt die Bewegung aufzuhören. Dieses geschieht desto später, je kleiner das Stück und je größer die Fläche der Flüssigkeit ist. Sie hört auf, wenn man eine Glastafel auf das Gefäß legt, und beginnt von neuem, wenn man sie wieder fortnimmt. Unter dem Recipienten einer Luftpumpe erneuert sich die Bewegung so oft man den Kolben auszieht.

Der Kampher ist ein Oel, das in gewöhnlicher Temperatur, ohne zu schmelzen, verdampft. Er verbreitet sich auf der Flüssigkeit wie ein flüssiges Oel und überzieht sie mit einer dünnen Haut

(§. 127.). Da der Kampher sich nicht nach allen Seiten mit gleicher Kraft verbreitet, so kommt er in eine Bewegung, die je nach der Stärke der Ausströmung und der Größe des Stückes von verschiedener Geschwindigkeit ist. Alles was daher die Ausströmung unmittelbar oder die Verdampfung des dünnen Ueberzuges befördert, begünstiget auch die Bewegung. So klein die Menge ist, die sich auf der Flüssigkeit verbreitet, so nimmt doch das Kampherstück an Größe merklich ab, und wenn es cylindrisch ist, so wird es in der im Wasserspiegel liegenden Fläche zuweilen ganz durchschnitten. Die Verbreitung des festen, nicht auflöslichen Körpers ausgenommen, zeigt die Erscheinung nichts paradoxes.

Dem Kampher ähnlich verhalten sich auf kaltem Queckſilber: Phosphor, Jod, salpetersaures Queckſilber, salpetersaures Kupfer, Benzoesäure; und auf erhitztem Queckſilber die leicht schmelzbaren Metalle, selbst bei Temperaturen, die beträchtlich unter ihrem Siedpuncte stehen.

§. 136. Die schönsten Beispiele von diesen Bewegungen haben Erman, Herschel, Pfaff, Runge u. a. gesehen, wenn sie Queckſilber, mit einer Flüssigkeit bedeckt, in eine einfache oder voltaische Kette brachten. Aber sie sind höchst verwickelt, indem zu den schon sehr mannigfaltigen Bewegungen, die eine Folge der Cohäsion sind, noch die Veränderungen kommen, welche der Galvanismus in der Beschaffenheit der Körper hervorbringt. Indessen ist es mir wahrscheinlich, daß die Bewegungen an sich unmittelbar nur von der Cohäsion abhängen, und der Galvanismus nur das Material und die Basis derselben verändert.

Beruhigung der Wellen.

§. 137. Der größte Theil von den Untersuchungen, die ich in diesem Abschnitte mitgetheilt habe, ist von einem Phänomen ausgegangen, das ebenfalls ein Beispiel von der Ausbreitung des Oels auf Wasser ist, aber unter eigenthümlichen Nebenumständen auftritt. Schon die alten griechischen Fischer hatten eine Menge von Erzählungen, die uns Aristoteles, Plutarch, Plinius aufbewahrt haben, über die Wirkungen, welche ein wenig Oel auf dem Meere hervorbringt. Die Wellen werden beruhigt; dem Untergange nahe Schiffe werden gerettet. Die See wird so durchsichtig, daß man verlorne Ringe auf dem Sande des Bodens erken-

nen konnte. Auch neuere Seefahrer, besonders Wallfischfänger, wissen viel von der wunderbaren Wirkung eines Fäßchens Thran auf das stürmisch bewegte Meer zu berichten. Es ist, wie in allen Sagen der Art, vieles übertrieben; aber ganz ohne Grund sind sie nicht. Denn nach den Versuchen, die Franklin zuerst angestellt hat, und Mann, Achard, Weber und viele andre wiederholt haben, reichten wenige Tropfen Oel hin, um eine mehrere Quadratmeter haltende Fläche eines Teiches oder des Meeres zu bedecken, die kleinen kräuselnden Wellen zu zerstören und das Wasser durchsichtiger zu machen.

Die Verbreitung des Oels ist eine Folge der Cohäsion. Die Berührung der Wellen ist aber vielleicht bloß hydrostatisch, und würde bei einer andren Flüssigkeit, die sich mit dem Wasser nicht mischt und dasselbe specifische Gewicht hat, wie das Oel, aber eine andre Prosaphie gegen Wasser, ebenfalls statt finden. Bei einer freien Oberfläche behalten die kleineren Wellen auf dem Wasser ihre Oscillationen aus ähnlichen Ursachen bei, wie das Pendel. Wenn aber stets eine andre Flüssigkeit von dem Wellenbergen ab in die Wellenthäler fließt, so wird die Größe ihrer Oscillationen schnell vermindert. Der Entstehung einer Welle scheint jedoch das Oel nicht vorzubeugen.

§. 138. Eine diesem verwandte Erscheinung hat ebenfalls Franklin zuerst und nach ihm Percival, Robinet und am genauesten Thayer beobachtet. Sie fanden, daß wenn ein Gefäß, in dem sich zwei nicht mischbare Flüssigkeiten befinden, hin- und hergeschwungen oder in einem Kreise gedreht wird, die äußere Oberfläche der flüssigen Masse fast constant bleibt, die gemeinschaftliche Oberfläche beider Flüssigkeiten aber in Wallungen kommt, die in einem stark bewegten Gefäße zu heftigen, aber ganz regelmäßigen Oscillationen werden. Was von Thayers Versuchen bis jetzt bekannt geworden ist, reicht zu einer genügenden Erklärung noch nicht hin. Sie sind ein ziemlich verwickeltes Product mehrerer Ursachen, der Schwere, der Centrifugalkraft und der Cohäsion. Die Erscheinung ist jedoch nach Raum und Zeit genau zu beobachten; die Schwere und die Centrifugalkraft sind leicht in Rechnung zu ziehen und so müßte der Einfluß der Cohäsion aus ihnen abzuleiten sein.

§. 139. Ueber die Bewegungen von Flüssigkeiten auf festen oder flüssigen Unterlagen sind die ersten Versuche angestellt von

Hauksbee Phil. Transact. 1711. p. 395; 1712. p. 473. Auch in den Phys. Mechan. Experiments. 1709. Oel und Wasser auf Glas.

Musschenbroek Dissert. phys. 1729. p. 337. Versuche über die relative Geschwindigkeit, mit der sich verschiedene Flüssigkeiten auf Glas verbreiten. Er findet, daß ein luftleerer Raum wie ein luftvoller wirkt.

Franklin Phil. Transact. 1774. p. 445. Journ. de Phys. 1774. IV. p. 363. Der Mangel an äußern Mitteln und an einer Kenntniß der höhern Mathematik hat seinen Wirkungskreis in der Physik sehr verkürzt. In der Sphäre, in der er sich bewegte, zeigt er sich aber als einen Physiker des höchsten Ranges. Scharfsinnig in der Analyse einer Beobachtung, consequent in der Entwickelung einer Ansicht und äußerst gewandt in der Ausführung eines Versuches, wie in der Darstellung. Aber sein Gesichtskreis war etwas beschränkt, er war nicht der Genius, welcher der Wissenschaft neue Gebiete erwirbt, und man könnte von ihm sagen, daß er in seiner Sphäre zwar groß, daß aber die Sphäre nicht groß war. In seinem Vaterlande ist er ohne Rival geblieben; denn bis jetzt hat America keinen einzigen Mann aufzuweisen, der die Physik wahrhaft bereichert hätte.

Mann Mém. de Bruxelles. 1780. p. 255. Viele Versuche mit Oelen auf Wasser. Die Theorie ist für jene Zeit recht gut, aber der Vortrag nicht recht geordnet.

Martin Wall Manchest. Mem. 1725. II. p. 419. Franklin hat die Verbreitung des Oels aus einer Repulsionskraft abgeleitet. Wall zeigt, daß eine Anziehungskraft zu der Erklärung hinreiche. Neue Versuche hat er nicht angestellt.

Perciwal Manch. Mem. 1785. II. p. 429.

Achard phys. chemische Schriften. 1784. p. 83. Er beobachtete nicht die Beruhigung der kräuselnden Wellen; sondern die Fähigkeit des Wassers durch die Bewegung von Flügeln in starke Erschütterungen zu gerathen, und fand darin keinen Unterschied zwischen reinem und mit Oel bedecktem Wasser.

Um den Anfang dieses Jahrhunderts beschäftigten sich mehrere Physiker mit den Bewegungen von Oelen oder Kampher auf Wasser. Ihre Versuche stimmen bis auf einige Einzelheiten gut mit einander überein.

Ben. Prevoſt Ann. de Chimie. 1797. XXI. p. 254; XXIV. p. 31; Mém. de Genève. 1826. III. p. 96. Er hat viele Verſuche mit Oelen, Kampher und öligen Samen.

P. Prevoſt Ann. de Chim. 1802. XL. p. 3. Verſuche mit einigen wäſſrigen Flüſſigkeiten, Alkohol, Aether.

Draparnaud Ann. de Chimie. 1803. XLVII. p. 304.

Dieſe drei Männer glaubten hier Abſtoßungskräfte zu ſehen. Eine richtigere Erklärung gaben:

Caradori Brugnatelli Giorn. in Gren's Neuem Journal. 1797. IV. p. 78 und Gilb. Annal. XXIV. p. 134. Recht gute, er etwas zerſtreute Arbeiten.

Venturi Annal. de Chim. 1797. XXI. p. 272. Er nennt Romieu als den, welcher die Bewegungen des Kamphers zuerſt geſehen habe. Volta habe die Bewegungen von Benzoeſäure, Bernſteinſäure und der mit Aether getränkten Körper unterſucht. Venturi ſelbſt beobachtet vornehmlich den Kampher. Seine Arbeit iſt wie alles, was ich in dieſem Phyſiker kenne, in jeder Beziehung ausgezeichnet.

Mehrere der um dieſe Zeit erſchienenen Abhandlungen ſtehen in Gilb. Annal. 1806. XXIV.

P. Wilſon Edinb. Transact. 1798. IV. p. 163. Gilb. Annal. III. p. 447. Ueber einige Bewegungen von Körpern, die auf theilweiſe erwärmtem Oele ſchwimmen. Es combinirt ſich dabei die Prosaphie mit den durch die Wärme bedingten hydroſtatiſchen Strömungen.

Robinet Journ. de Phys. 1807. LXV. p. 272. Gilb. Annal. XXXI. p. 277.

Link Gilb. Annal. 1806. XXIV. p. 121. hat viele Verſuche über die Verbreitung von Oel auf Queckſilber und Waſſer, von denen einige neu ſind.

Lampadius Schweigg. Journ. 1820. XXX. p. 255. Verſuche über Schwefelkohlenſtoff. Ich finde ihn weit weniger beweglich als Aether.

Belli Brugnatelli Giorn. 1824. Schwefelſäure auf Queckſilber.

Schweigger-Seidel Schweigg. Journ. 1825. XLIV. p. 285—326. Eine fleißige Zuſammenſtellung und Wiederholung der ältern Verſuche mit Kampher.

Fusinieri Brugn. Giorn. 1821. und Ann. delle science del Regno Lomb. Ven. III. 1833. p. 26. 83. 196. 266. Die älteren Beobachtungen sind wiederholt und mit vielen neuen vermehrt. Es ist bei weitem die wichtigste Arbeit in diesem Gebiete und das Resultat einer sorgfältigen, redlichen und nicht ohne Scharfsinn angestellten Untersuchung. Auch die Darstellung ist, wie alle italienischen, zwar etwas breit, aber gut geordnet und deutlich. Aber die Theorie bietet auch keine einzige gute Seite dar. Ihre Basis ist eine seltsam modificirte Abstoßung zwischen den Theilen der Körper, die er für eine Folge eines mir nicht klar gewordenen Calore nativo hält; ihre Gesetze sind im höchsten Grade vag, und dennoch leitet er beinahe alle physischen Erscheinungen daraus ab. Nachdem er seine Ansichten schon im Jahre 1821 mit mehr als hinlänglicher Ausführlichkeit auseinander gesetzt hatte, wiederholt er sie mit wenigen Zusätzen zwölf Jahre später und schmähet nicht nur die Physiker, die ihre nach seiner Meinung ganz vage, naturwidrige, atomistische Ansicht von den Imponderabilien nicht aufgeben wollen; sondern auch auf die Mathematiker. Eine solche Polemik kommt außerhalb Deutschlands selten vor; aber wo sie sich findet, macht sie einen widrigen Eindruck. Es ist der Neid der Unwissenden gegen die Kundigen. Man verhöhnt, was man nicht erreichen kann. Die Physiker haben sich durch eine in der Wissenschaft fast beispiellose Ignorirung von Fusinieri's Arbeit gerächt. Ich erinnere mich nicht, sie auch nur erwähnt gefunden zu haben. Aber seine Beobachtungen verdienen noch jetzt eine ausführliche Uebersetzung.

Weber Wellenlehre. 1825. p. 78. Verbreitung von Oelen auf Wasser.

Mattteucci Ann. delle Science. Lomb. Ven. 1833. III. p. 194. Kampher auf Wasser. Die Ursache seiner Bewegung sei bloß Verdampfung. Das Wasser verhalte sich ganz passiv dabei.

Thayer l'Institut N. 21. Poggend. Annal. 1834. XXXI. p. 37.

Zweiter Abschnitt.

Cohärenz im Conflict der Aggregatzustände.

§. 140. Die Aggregatzustände hängen hauptsächlich von der Temperatur ab. Der feste Zustand kann bei keiner Temperatur bestehen, welche eine für jeden Stoff constante Höhe überschreitet. Jeder Körper kann ferner nur bis zu einem von der Temperatur abhängigen Maximum der Dichtigkeit als Dampf existiren. Bei größerer Compression wird er fest oder flüssig.

Beide Bedingungen sind negativ. Wenn ein fester Körper sich nicht über eine gewisse Temperatur erwärmen, ein Dampf sich nicht unterhalb einer gewissen Grenze abkühlen läßt, so folgt daraus noch nichts über die Grenzen des liquiden Zustandes. In der That hat dieser keine scharfe Grenzlinie und kann sich in den Bereich der benachbarten Aggregatzustände ausdehnen. Dieses Uebergreifen des Flüssigen hängt nun nicht mehr unmittelbar von der Wärme ab, sondern zum Theile von dem Volumen, und vor allem von der Cohäsion zwischen heterogenen Körpern.

Alle Veränderungen, welche die Cohäsion in dem Aggregatzustande veranlaßt, bestehen nicht in einer Veränderung der Bedingungen, bei denen ein Stoff fest oder gasig ist, sondern bloß in einer Erweiterung der Grenzen des flüssigen Zustandes.

§. 141. Die heterogenen Körper wirken auf zweifache Weise auf einander.

I. bloß durch Berührung der Oberflächen;

II. durch Wechselwirkung im Raume, durch physische Verbindungen.

I. Einfluß der Berührung heterogener Körper auf die Aggregatzustände.

A. Berührung an der äußeren Fläche.

§. 142. Nach Beobachtungen, die ich §. 122. mitgetheilt habe, verbreiten sich Kampher, Phosphor, Metalle u. s. w. auf Quecksilber und Wasser, bei Temperaturen, die niedriger sind, als ihr Schmelzpunct. Die Verbreitung setzt das Aufhören des festen Zustandes voraus. Die Prokaphie der Flüssigkeit hat daher

wie eine Erhöhung der Temperatur gewirkt, ohne jedoch die Temperatur selbst in einem zum Schmelzen hinlänglichen Grade zu erhöhen.

Dasselbe ist der Fall bei den §. 72. betrachteten Membranen aus Seifenwasser, die bei -6^0 fortfahren eine dünne Haut zu bilden, sich in keiner ihrer Eigenschaften von der in einer höhern Temperatur gebildeten unterscheiden, und daher wahrscheinlich nicht aus Eis und Seife, sondern aus Wasser und Seife bestehen. Auch in den wasserhaltigen porösen Stoffen, in Erde, in organischen Producten, die einer Temperatur unter 0^0 ausgesetzt werden, friert nicht alles Wasser.

Auch außerhalb des Gebietes der Cohäsion finden sich Beispiele von Körpern, die unterhalb ihres Frierpunctes flüssig sind, z. B. Wasser, und in noch höherem Grade, Schwefel, Phosphor, selbst Metalle. Auch die Uebersättigung von schwefelsaurem Natron und andren Salzlösungen gehört hieher. Aber in allen diesen Fällen reicht es hin, die flüssigen Körper mit einem gleichartigen, bereits erstarrten zu berühren, um den ungewöhnlichen Zustand, in dem sich die Masse befindet, aufzuheben. Durch die Prosaphie dagegen wird der flüssige Zustand nicht nur in einer sehr niedrigen Temperatur beibehalten, sondern sogar aus dem festen hervorgebracht, was, die Auflösungen oder chemische Verbindungen ausgenommen, auf keine andre Weise möglich ist. Den Körper aber über den Schmelzpunct hinaus in einem festen Zustande zu erhalten, vermag selbst die Cohäsion nicht.

§. 143. Wie in den Bereich des festen Aggregatzustandes, so erstreckt sich die Flüssigkeit durch Vermittelung der Cohäsion auch in den luftförmigen hinüber.

Die Dämpfe von Ammoniak, Salzsäure, Alkohol, ätherischen Oelen, besonders aber von Aether, schlagen sich auf die Oberfläche von Wasser oder Queckſilber nieder, lange ehe sie ihr Maximum erreicht haben, und bilden darauf eine Haut, die sich ungeachtet ihrer starken Verdampfung eine Zeitlang erhält (§. 119.). Eben so verfährt der Wasserdampf. Schon Sauſſure (Hygrometrie. p. 124.) hält es für unzweifelhaft, daß sich der Wasserdampf auf Glas noch vor seiner Sättigung ablagert. Gayluſſac (Ann. Ch. Ph. XXI. p. 92.) hat i. J. 1815. der Akademie zu Paris Erfahrungen mitgetheilt, aus welchen hervorgehen soll, daß die Luft einen Theil der Wasserdämpfe vor

ihrer Sättigung an Glas und Metall abtrete. Pouillet (Ann. Chim. Phys. 1822. XX. p. 155.) sagt dasselbe von Quarz und andren Steinarten, auch von Platina und Silber. Faraday (Phil. Transact. 1830. p. 49.) berichtet von dem borarsauren Blei, einem schweren Glase, daß seine Hygroskopie so schwach sei, wie bei Harz und Seide, also viel kleiner als in andren Glasarten. Diese Beobachtungen scheinen sämmtlich durch die Elektricität gemacht zu sein. Der Wasserdampf leitet aber die Elektricität so wenig, wie jedes andere uns bekannte Gas. In unsren Laboratorien ist der Raum unter gewöhnlichen Umständen niemals mit Wasserdampf gesättigt. Wenn daher die Isolatoren der elektrischen Apparate bei etwas minder trockner Luft schlechter isoliren, so rührt dieses von einer vor ihrer Sättigung präcipitirten Wasserschicht her. Man ist daher, um den Einfluß des Dampfes auf die elektrischen Versuche zu erklären, nicht genöthigt, mit Munck af Rosenskiöld (Pogg. Annal. 1834. XXXII. p. 362.) seine Zuflucht zu einigen neuen Imponderabilien zu nehmen.

§. 144. Ein geschlossener Raum, dem es nicht an Wasser fehlt, wird sich, wenn die Temperatur keine Schwankungen erleidet, nur an Körper niederschlagen, welche die Fähigkeit zu präcipitiren in einem höheren Grade besitzen als das Wasser selbst. Es findet aber der Niederschlag unter Umständen statt, bei denen das Wasser noch verdampft und dem Anscheine nach an beinahe alle heterogene Körper. Am stärksten beschlagen sich Metalle, einige Glas- und Steinarten; am schwächsten Schwefel, Harz, Seide. Diese sind auch weit schwerer benetzbar als jene. Man darf daher wol die Fähigkeiten, sich mit Dampf zu beschlagen, und die zu benetzen, für Resultate derselben Ursache halten, nämlich der Prosaphie zwischen dem flüssigen und dem festen Körper. Ob aber diese Fähigkeit darin besteht, daß sich nur aus demjenigen Dampfe etwas niederschlägt, der eine gewisse Grenze, etwa 1:m des Maximums, überschritten hat, oder ob sich auch jeder Dampfmenge in der Luft ein gewisser Theil präcipitirt und mit dem noch dampfförmig gebliebenen Theile in Gleichgewicht setzt, kann hier nicht entschieden werden. Aus den folgenden Abschnitten wird sich eine größere Wahrscheinlichkeit für die zweite Alternative ergeben.

§. 145. Diese Präcipitation des Dampfes auf die Oberfläche der Körper spielt in mehreren physischen Processen eine wichtige

Rolle. Ich habe schon oben (§. 120.) von ihrem Einflusse auf die Bildung der Tropfen gesprochen. Daß die Flüssigkeit in Haarröhren ihren von der Synaphie abhängigen Normalstand zuweilen von selbst erreicht, kann nur durch eine allmälig fortschreitende Benetzung erklärt werden, welche wol eine Folge der Präcipitation des Dampfes auf das noch trockne dem Ende der Flüssigkeitssäule benachbarte Glas sein muß; denn die Flüssigkeit selbst hat kein Streben über die von der Prosaphie bestimmte Höhe hinauszugehen.

Von dem Einflusse dieser vorzeitigen Präcipitation auf das mariottische Gesetz habe ich schon oben (Elasticität der Gase §. 3.) gesprochen. Die Elasticität der Gase wird dadurch in minder starkem Verhältnisse vermehrt, als die Dichtigkeit. Die Gase, bei denen man diese Abweichung beobachtet hat, gehören zu den leicht comprimirbaren, d. h. zu denen, die als Dämpfe ihrem Maximum nahe sind. Das schwefligsaure Gas z. B. besitzt bei dem Druck einer Atmosphäre und einer Temperatur von $12^0 5$ beinahe $^1/_3$ seines Maximums. Comprimirt man das Gas auf das Dreifache, so ist es seinem Maximum sehr nahe, ein Theil schlägt sich nieder, und das Gas hat eine kleinere Elasticität als drei Atmosphären. Oersted glaubt sogar die Präcipitation selbst beobachtet zu haben und erklärt sie durch die Berührung von heterogenen Theilen des Apparates.

§. 146. Unter den gewöhnlichen Umständen ist daher kein Raum ganz mit Dampf gesättigt. Das daniellsche Hygrometer beschlägt sich etwas früher, als der Dampf sein Maximum erreicht hat. Andrerseits kann man den Niederschlag immer erst einige Zeit nach dem Eintritt der Bethauung erkennen. Es ist die Frage wie weit diese beiden Wirkungen einander aufheben.

Alle unsre Kenntnisse von der Elasticität der Dämpfe beziehen sich auf Versuche in Gefäßen von Glas und Metall, die keine Sättigung zulassen. Die Resultate hängen also von zwei sehr heterogenen Ursachen ab, von der Elasticität des Dampfes in einem freien Raume und von der Prosaphie der Gefäße. Ohne beide Ursachen zu trennen, wird man wol empirische, nur für die Interpolation taugliche Formeln, aber niemals das wahre Naturgesetz aufstellen können. Vielleicht stimmt jenes mit der geometrischen Progression überein, nicht der daltonschen, sondern der einfachen Formel, welche ich in meiner Dissertation **De Theoria Gasorum et Vaporum**

1823. aufgestellt habe und die mit der neulich von Biot (l'Institut. N. 26. Pogg. Annal. 1834. XXXI. p. 42.) empfohlenen vieles gemein hat.

B. Berührung an den Wänden der inneren Kanäle.

§. 147. In einem porösen Körper ist die Oberfläche für dasselbe Volumen weit beträchtlicher, und die Menge der auf ihr sich verbreitenden Flüssigkeit kann daher auch viel größer sein, als bei einer dichten oder einfach geschichteten Masse. Wenn die Kanäle nach Außen geöffnet und weit genug sind, um die Verbreitung des fremden Körpers zu gestatten, so sind die Wirkungen beträchtlicher, sie erstrecken sich auch auf das Volumen und das Gewicht des porösen Körpers und können mit größerer Schärfe beobachtet werden, als bei freien Oberflächen, wo sie auf eine dünne, der Wage und oft auch dem Auge sich entziehende Schicht beschränkt sind. Zu den auf die Oberfläche wirkenden Kräften treten noch die den engen Räumen eigenthümlichen, die sich in der Haarröhre am deutlichsten zeigen und die Verbreitung einer Flüssigkeit auf die benetzte Wand der Kanäle sehr erleichtern.

Diese Benetzung, welche die Hauptbedingung für die Verbreitung auf einer freien Oberfläche ist, ist es auch bei porösen Körpern. Quecksilber, das nicht netzt, verbreitet sich auch nicht, und wenn man es durch starken Druck in das Innere von Holz, Leder u. dergl. treibt, so ist es auf der Wand der Höhlung nicht in einer Schicht verbreitet, sondern nur in einzelnen Tropfen.

§. 148. Flüssige Körper haben keine Poren. Es bleiben uns daher bloß die festen übrig. Bei diesen könnte man, wie in §§. 142 und 143. sowohl die Verbreitung der festen, als die der flüssigen und gasförmigen betrachten. Allein über die festen Körper fehlt es bisher gänzlich an entscheidenden Beobachtungen. Denn wenn auch vom Kampher, vom Eise und andren flüchtigen Substanzen ein Theil in die porösen festen Körper übergeht, so ist es ganz gleichgültig, ob der Kampher u. s. w. den porösen Körper berührt oder nicht. Es ist daher nicht eine Verbreitung eines festen, sondern nur die eines gasförmigen Stoffes.

Die Aufnahme der Flüssigkeiten in die Poren eines festen Körpers hätte schon oben §. 115. betrachtet werden können; aber sie hat so viel Berührungspuncte mit derjenigen der Gase, und

wirft so viel Licht auf den Zustand, in welchem diese sich in den Poren befinden, daß ich sie nicht von ihnen trennen wollte.

Für die Verbreitung eines Gases und eines Flüssigen in den Poren eines festen Körpers und die Verbindung eines Flüssigen mit einem Gase hat die roissenschaftliche Sprache nur ein Wort, Absorption, obgleich sie wesentlich von einander verschieden sind, indem bei jener ein Nebeneinanderliegen, eine mechanische Verbindung stattfindet, bei dieser ein gegenseitiges Durchdringen, eine physische Verbindung (Siehe Einleitung §. 14.). Ich werde daher die Aufnahme in den Poren mit Adsorption, die physische Verbindung dagegen mit Insorption bezeichnen.

1. Adsorption von Flüssigem.

§. 149. Eine Flüssigkeit, welche mit einem porösen Körper in Berührung kommt, steigt in die engen Kanäle auf und füllt alle zugänglichen Höhlungen an, wenn die der Weite der Kanäle entsprechende Capillaritätshöhe nicht kleiner ist, als die Höhe der Körper über dem Niveau. Ueber ihn hinaus steigt sie jedoch niemals, so eng die Poren und so niedrig die festen Körper auch sein mögen. (Siehe §. 54.).

Wenn die Flüssigkeit nicht hinreicht, um die Kanäle ganz auszufüllen, so wird sie, wie bei Haarröhren, in die engeren Theile derselben eindringen, diese mehr oder weniger anfüllen und die Wände der übrigen bloß benetzen. Bringt man auf einen Feuchtigkeit enthaltenden Stoff einen andren porösen, so wird sich zwischen beiden ein gewisses Gleichgewicht herstellen, welches von ihrem Volumen und ihrer Textur abhängig ist. Man kann daher eine adsorbirte Flüssigkeit aus einem porösen Körper fast gänzlich ausziehen, wenn man Stoffe damit in Berührung bringt, welche ihm in ihrem Adsorptionsvermögen oder im Volumen sehr überlegen sind.

Wenn zwei Flüssigkeiten von verschiedener Beschaffenheit, z. B. Oel und Wasser, mit einem festen Körper in Berührung kommen, so wird die schwächer netzende Flüssigkeit von der andren verdrängt werden, also Wasser vom Oele. Durch Papier können daher auch Wasser und Oel, und zuweilen sogar zwei Oele von einander getrennt werden. Indessen wird dieser Zweck selten vollständig erreicht

weil die engen Kanäle den Flüssigkeiten keinen hinlänglich freien Spielraum für ihre Bewegungen gestatten.

Zersetzung physischer Verbindungen durch Adsorption.

§. 150. Die Trennung beschränkt sich jedoch nicht auf Gemenge, die nur durch das schwache Band der Prosaphie zusammenhalten, sondern es werden auch physische Verbindungen zersetzt, deren Bestandtheile zwar durch ein der Prosaphie verwandtes, aber weit kräftigeres Band an einander geknüpft sind. Bringt man z. B. eine Indigoauflösung in Schwefelsäure auf Papier, so wird sich die Färbung auf einen gewissen Raum beschränken und über diesen hinaus enthält das Papier zwar noch Flüssigkeit, aber keinen Farbestoff mehr. Dasselbe findet sich bei mehreren andren, auch nicht gefärbten Auflösungen.

§. 151. Bringt man Kohle, Eiweiß und ähnliche Stoffe in Weingeist, in dem ein Oel aufgelöst ist, so saugt sich das Oel in die Kohle u. s. w., und der Weingeist bleibt rein zurück. Auf eine ähnliche Weise werden Wasser-, Salz- und Zuckerlösungen von einer Menge beigemischter Stoffe befreit, und die Salzlösungen selbst zuweilen gesetzt. Dieses geschieht nach Graham, der die besten Versuche darüber angestellt hat, bei salpetersaurem Silber, Blei und Zinn, bei essigsaurem Blei, salzsaurem Silberoxyd-Ammoniak, schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak, Bleioxyd-Kali, Zinnoxyd-Ammoniak, wo das Metall sich ganz oder fast ganz mit der Kohle niedersenkt. Bei Kochsalz, schwefelsaurem Kupfer und wahrscheinlich bei der Mehrzahl der übrigen Salze ist keine Wirkung. Dem Kalkwasser, dem Chlorkalkwasser und der Zuckerlösung (Payen) wird der Kalk entzogen, Jod und Jodlösung, Kurkuma und Lackmuß aus dem Wasser niedergeschlagen. (Vogel.) Zuweilen ist eine chemische Zersetzung damit verbunden, z. B. eine Reduction des Metalls. Indessen scheint diese in der Regel erst einzutreten, nachdem die Kohle sich bereits mit dem Salze belegt hat, und von ähnlichen Ursachen herzurühren, wie die Haut, die sich beim Aether und andren Stoffen bildet (§. 119.) und wie die Producte, die in mehreren Gasen an Platin entstehen. Der adsorbirte Stoff haftet mit großer Gewalt an der Kohle und kann natürlich nicht durch eine minder adhärirende Flüssigkeit entfernt werden. Man kann sie ohne Zerstörung

der Kohle fast nur dann vertreiben, wenn man sie durch Gährung oder durch Säuren zersetzt.

Mit wenigen Ausnahmen hatte man bei allen Versuchen über diese Art von Adsorption technische Zwecke. Man wollte Weingeist und Zucker von Oelen oder den sogenannten Extractivstoffen befreien. Die Kohle ist aber durch ihre Wirksamkeit und ihren Preis so sehr für die Anwendung geeignet, daß man die Untersuchung über die relativen Vorzüge verschiedener Kohlenarten auf andre poröse Körper auszudehnen keine Veranlassung hatte. Es bleibt daher zweifelhaft, ob die Kohle und einige andre aus dem organischen Reiche stammende Substanzen, deren man sich früher als der Kohle bediente, ihre Wirksamkeit der innern Beschaffenheit oder bloß der räumlichen Anordnung der Theile verdanken, welche bei anorganischen Producten selten so vollständig porös ist, wie bei organischen und besonders bei Kohle, wo die in dem Holze abgelagerten fremden Stoffe durch den Verkohlungsproceß entfernt oder zerstört sind. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß die Kohle hauptsächlich, vielleicht ausschließlich, durch ihre Textur wirkt. Wenn das sehr poröse Platinapulver mit Rosenwasser gewaschen wird, so nimmt es, ganz wie die Kohle, das Oel aus dem Wasser auf. Die verschiedenen Kohlenarten, die in ihren Bestandtheilen doch ziemlich mannigfaltig sind, unterscheiden sich wol in der Intensität, aber nicht in der Qualität ihrer Wirkung, und jene hängt ganz von der Textur ab. In einer Kohle mit zu großen Höhlungen ist die Adsorption schwächer, weil sie im Verhältniß zu engern Höhlungen bei gleichem Volumen eine zu kleine Oberfläche haben. Bei zu kleinen Hohlungen ist den fremden Stoffen der Zugang erschwert. Es muß also ein gewisses Maximum geben, und dieses findet sich in dem gut ausgelaugten Beinschwarz.

§. 152. Außer vielen bloß technischen Arbeiten und gelegentlichen Bemerkungen giebt es ausführlichere Untersuchungen von:

F. C. Vogel in Bayreuth Schweigg. Journ. 1822. IV. p. 42, Einige gute Versuche mit mehreren Arten von Kohle und Flüssigkeiten. Die Darstellung ist aber sehr weitläuftig und nicht geordnet.

Payen Ann. Ch. Ph. 1822. XXI. p. 215. Bloß über die Anwendung verschiedener Arten von Kohle bei dem Raffiniren des Zuckers.

Th. Graham. Die Versuche sind zwar nur mit gereinigtem Beinschwarz, aber bei vielen Flüssigkeiten angestellt. Es ist die einzige wissenschaftliche Abhandlung über die Adsorption der Flüssigkeiten.

Einfluß der Adsorption auf Gestalt und Gewicht.

§. 153. Körper von geringer Geschmeidigkeit und Elasticität, wie Sandsteine, Kohlenstücke, verändren durch Adsorption bloß ihr Gewicht. Die Gewichts-Zunahme hängt ab von dem specifischen Gewicht des flüssigen und des festen Körpers und von der Größe der Poren. Sie übersteigt zuweilen das Gewicht des festen Körpers selbst; beträgt jedoch in der Regel nur einige Hunderttheile.

§. 154. Bei Aggregaten staubförmiger Substanzen wird durch die Adsorption auch das Volumen beträchtlich vergrößert und zwar aus zwei Ursachen. Erstlich wird das mechanische Gleichgewicht durch die Adsorption gestört: Ein Haufen trockner Theile ist nur dann in bleibender Ruhe, wenn in jedem Theilchen der Schwerpunct die möglichst tiefste Lage hat, und das Volumen des Ganzen im Minimum ist. Mit Wasser gesättigt wird das Gewicht eines Theilchens um das Gewicht einer gleich großen Wassermasse kleiner, und sie streben nicht mit derselben Kraft das Volumen des Ganzen auf das Minimum zu bringen, wie früher. Zweitens dringt das Wasser nicht nur in die Zwischenräume der Theile; sondern es vergrößert sie auch; es treibt die benachbarten Theile auseinander, so daß wahrscheinlich in dem ganzen Haufen sich nirgends zwei feste Körper unmittelbar berühren. Die erste Wirkung hängt nur von dem specifischen Gewichte ab; die zweite scheint dagegen, sobald sie vollendet ist, mit der Synaphie zu steigen.

§. 155. Von diesem festen Anhaften des Wassers rührt es auch her, daß pulverisirte Substanzen in der Regel ein etwas kleineres specifisches Gewicht haben, als größere Stücke. Da nämlich der feste Körper gewöhnlich specifisch leichter ist als das Wasser, so wird eine aus beiden zusammengesetzte Masse leichter sein müssen, wie der feste allein. Wenn die Krystalle zuweilen ein kleineres specifisches Gewicht haben als das Pulver; so rührt dieses von den in Krystallen bekanntlich sehr häufigen Höhlungen her, die dem aräometrischen Wasser unzugänglich sind, aber von ihm angefüllt werden, wenn die Masse gepulvert ist.

Thatsachen, aber keine Erklärung über diese Anomalien des specifischen Gewichtes geben:

Hassenfratz Gilb. Annal. 1798. I. p. 396.

Descharmes Dingler Polyt. Journal. 1829. XXXI. p. 441. In einem Achatmörser geriebener Bergkrystall nahm an absolutem Gewichte zu. Die Ursache scheint ihm unbekannt zu sein. Zum Theil mag es adsorbirte Flüssigkeit gewesen sein. Hauptsächlich aber waren es nichts als vom Mörser abgeriebene Theile.

Osann Kastner Archiv. 1830. I. p. 95.

Beudant Ann. Ch. Ph. 1828. XXVIII. p. 398; Pogg. Annal. XIV. p. 474.

§. 156. Noch mannigfaltiger sind die Wirkungen der Adsorption bei Poren mit dünnen, elastischen Wänden. Die eindringende Flüssigkeit ist wie eine innere Kraft, sie erweitert die Poren und vermehrt das Volumen des Körpers. Ihre Intensität ist sehr groß. Bei Erbsen z. B. ist sie stark genug, um einen Flintenlauf zu sprengen. Mit Holzkeilen, welche man in Bohrlöcher trieb und benetzte, hat man, ehe man sich des Pulvers bediente, Sandsteine, Thonschiefer und Marmor gesprengt.

Diese Ausdehnung ist zwar noch nicht mathematisch untersucht; es ist aber nach den Gesetzen der Synaphie wahrscheinlich und wird durch Erfahrung bestätigt, daß die Adsorption unter sonst gleichen Umständen um so stärker ist, je dünner die Wände und je kleiner die Dimensionen der Poren sind.

In Körpern mit kreisförmigen oder regellos gelagerten Höhlungen, wie Badeschwämme, Gallerte, sind die Ausdehnungen nach allen Seiten gleich. Dasselbe ist der Fall bei Haufen von Samen und andren Substanzen, bei denen sich die Flüssigkeit nicht bloß in Zwischenräumen, sondern auch in den Zellen der einzelnen Theile lagert, wie ungleichförmig auch die Ausdehnung innerhalb eines jeden Theiles sein mag.

In Membranen dagegen und Fasern bringt die Adsoption nach verschiedenen Richtungen ungleiche Wirkungen hervor und zwar aus doppeltem Grunde. Erstlich haben sie nach verschiedenen Seiten eine verschiedene Cohärenz. Ihren Hauptdimensionen perpendiculär hangen sie mit einer weit geringern Kraft an einander als parallel damit, und die eindringende Feuchtigkeit, wenn sie nach allen Seiten mit gleicher Stärke drückt, muß in den Mem-

branen oder Fasern eine größere Veränderung in der Dicke hervorbringen, als in der Länge. Zweitens sind die Höhlungen in den den Längendimensionen parallelen Richtungen stark ausgedehnt, in den Fasern lang gezogen, in den Membranen in der Regel niedrige Zellen. Beide Umstände vereinigen sich, um die kurzen Dimensionen in einem weit stärkern Verhältnisse zu vergrößern als die längern.

§. 157. Genauere Untersuchungen fehlen zwar gänzlich; aber die Unterschiede sind so groß, daß man sie schon mit dem bloßen Auge erkennt und durch gute, mit Mikrometern versehene Mikroskope recht genügende Messungen erlangen würde. Man weiß, wie sehr die Dicke eines Haares, einer Lein- oder Hanffaser oder einer Blase, und wie wenig ihre Länge durch Adsorption von Wasser zunimmt. Fischbein dehnt sich nach Deluc transversal um 0,12 — 0,13 aus, longitudinal dagegen viel schwächer. Papier wurde nach Reaumur durch Benetzung um 0,18 länger und die Dicke scheint nicht in einem größeren Maßstabe zu steigen; aber das Papier hat auch nur die Gestalt einer Membran, nicht ihr Gefüge. Es ist eine Gallertmasse, die durch Trocknen und Pressen ihr Wasser verloren hat und deren Theile sich dadurch einander näherten und viele aber unregelmäßige Höhlungen zwischen sich ließen.

Die pöröfen Substanzen, bei denen die Aufnahme oder die Entziehung von Feuchtigkeit nach entgegengesetzten Richtungen ungleich ist, entweder weil das Flüssige nicht überall in gleicher Menge zutritt, oder weil ihr Gefüge ungleichförmig ist, krümmen sich gewöhnlich und zwar so, daß der weniger ausgedehnte, oder der mehr zusammengezogene Theil convex wird. In den Holzstücken z. B. dehnen sich die älteren Jahresringe, deren Höhlungen minder zahlreich sind und dickere Wände haben, weniger durch die Feuchtigkeit aus, als die jüngern Ringe. Eine Holztafel krümmt sich daher durch Adsorption so, daß die nach dem Innern des Baumes gelegenen Theile an die concave Seite kommen; und durch Verlust von Feuchtigkeit an die convexe. Bei großen Verschiedenheiten in der adsorbirten Wassermenge ist der Unterschied in der Ausdehnung der Theile hinreichend, um das Holz zu zersprengen. Bei einem Holzringe, dessen Centrum in die Achse des Baumes fällt, werden, nach den Beobachtungen der Akademiker del Cimento, beide Durchmesser verlängert.

§. 158. Elastische Körper, die nach einer Richtung ausgedehnt werden, ziehen sich in der darauf entgegengesetzten zusammen. Dasselbe ist zuweilen auch die Folge einer zwar nach allen Seiten, aber ungleichförmig wirkenden Spannung. Eine ähnliche Wirkung bringt die Adsorption in den Membranen und Fasern hervor. Bei spiralförmig gewundenen Fasern, z. B. den genäßten Hanfseilen, ist die Verkürzung der Länge sehr stark und von de la Hire genau beobachtet. Etwas ähnliches, aber in einem geringeren Maßstabe, hat man bei vielen andren Körpern organischen Ursprunges wahrgenommen, die im vollständig feuchten Zustande zwar nicht immer kürzer sind, als im ganz trocknen, sich aber bei einer gewissen Stufe von Feuchtigkeit durch eine Vermehrung derselben zusammenziehen (Siehe unten §. 174.).

§. 159. Die Menge des adsorbirten Wassers in den organischen Stoffen ist groß genug, um nicht nur die Gestalt, sondern auch ihre physischen Eigenschaften zu verändern. Sie beträgt bei dem Holze unter gewöhnlichen Umständen 0,15 bis 0,25, unter der Luftpumpe bedeutend mehr, und wenn etwa einen Zoll große Stücke von Holz durch Einsenken in Meerwasser einem Drucke von 60—200 Atmosphären (was keinen beträchtlichen Unterschied in der Wirkung hervorbrachte) ausgesetzt wurden, so drang ungefähr 0,80 des ursprünglichen Gewichtes an Wasser hinein, und es ist nicht zu bezweifeln, daß wenn man das Holz in sehr kleinen Spänen und luftleer in's Wasser gebracht hätte, die Adsorption noch viel größer geworden wäre. Ein solches Holz sinkt im Meerwasser unter. Daher kommen auch Schiffe, die in tiefem Wasser untergehen, nie wieder zum Vorschein, während die in seichtem Wasser untergegangenen wieder heraufkommen, sobald die Bretter auseinander gehen.

Der wasserhaltige Zustand ist in den organischen Stoffen der natürliche. In dem Leben des Thieres und der Pflanze sind sie mit Feuchtigkeit gesättigt. Ein Theil des Wassers geht nach dem Tode gänzlich verloren; aber ein andrer Theil kann dem Körper oft genommen und wiedergegeben werden. Dieser wird dadurch abwechselnd hart und elastisch, oder wenn er wasserhaltig ist, weich und geschmeidig. Die Wassermenge, welche organische Fasern, ohne eine bleibende Veränderung zu erfahren, aufnehmen und wieder verlieren können, beträgt nach Chevreuil 0,40—0,80 vom Gewichte der trocknen Faser.

Alkohol, Aether und Oele werden zwar ebenfalls in beträchtlicher Menge adsorbirt, aber sie machen den Stoff nicht in dem Grade geschmeidig wie Wasser. Vielleicht füllen sie die engen Kanäle nicht so vollständig an, wie das weit stärkere capilläre Eigenschaften besitzende Wasser.

§. 160. Nach Pouillet findet bei der Adsorption von Wasser, Alkohol, Essigäther u. a. m. in Pulver von Glas und andren Substanzen eine Wärmezunahme von $0^0,2 - 0^0,5$ statt. Sie soll, das langsam adsorbirte Oel ausgenommen, sowohl wenn eine Flüssigkeit mit verschiedenen festen Körpern, als wenn ein fester mit verschiedenen Flüssigkeiten zusammenkommt, also unter allen Umständen, constant sein. Dieses ist sehr unwahrscheinlich. Wenn, wie Pouillet meint, die Elektricität im Spiele ist, so müßte die Wärme bei dem so verschiedenen elektrischen Verhalten von Glas und Metallen, Wasser und Aether, von der Beschaffenheit der Körper in sehr hohem Grade abhängig sein. Es ist daher wünschenswerth, diese Versuche zu wiederholen und namentlich die Reibung zwischen dem Thermometer und dem Pulver zu berücksichtigen, welche bei Pouillets Versuchen nicht ganz vermieden war.

§. 161. Die Literatur dieses Abschnittes beschränkt sich auf einige gelegentliche und quantitativ nicht genaue Beobachtungen.

Tentamina Acad. del Cimento, ed. Musschenbroek. p. 7.

De la Hire Mém. des Sciences. IX. p. 157. Adsorption von Seilen.

Reaumur ibid. 1714. p. 56. Adsorption von Papier.

Duhamel ibid. 1741. p. 475. Adsorption von Holz.

Rumford Schweigg. Journ. 1813. VIII. p. 167.

Knight Philos. Transact. 1817. p. 269. Beobachtungen über die ungleichförmige Adsorption des Holzes.

Scoresby Account on the polar regions, Adsorption von Meerwasser durch Holz.

Ueber die Veränderungen animalischer Membranen durch Adsorption von Wasser:

Chevreuil Journ. des Savans. 1821. p. 527.

Berzelius Lehrbuch der Chemie. 1831. IV. p. 37. 69.

2. Adsorption von Dämpfen.

§. 162. Die Adsorption der atmosphärischen Luft spielt eine so große Rolle in dem Ackerbau und in vielen thierischen und pflanzlichen Processen, und die Adsorption des Wasserdampfes ist für die Gewerbe, die Chemie und die Hygrometrie so wichtig, daß man eine Menge von Beobachtungen darüber angestellt hat, von denen einige sich auch über andre Gase oder Dämpfe erstrecken. Freilich sind nur wenige genau und mit wissenschaftlichem Geiste angestellt; aber sie reichen doch hin, um einige theoretisch wichtige Resultate zu begründen. Ich werde daher diesen Abschnitt wieder etwas ausführlicher behandeln und dabei die Adsorption der Dämpfe von derjenigen der übrigen Gase trennen, weil sie auf eine eigenthümliche Weise auftreten, am meisten beobachtet sind und auch für die Vorgänge bei der Adsorption der übrigen Gase den Maßstab an die Hand geben müssen.

Zustand des adsorbirten Wasserdampfes.

§. 163. In einen adsorbirenden Körper, der in einen Raum mit Wasserdampf gebracht wird, geht ein Theil des Dampfes über, bis zwischen dem frei gebliebenen Dampfe und dem adsorbirten eine Relation statt findet, die von der Größe des Raumes und des adsorbirenden Körpers ganz unabhängig ist, und bloß von der Elasticität des Dampfes und vielleicht noch von der Temperatur bedingt wird. Je größer die Elasticität des freien Dampfes, desto größer ist auch die Quantität des adsorbirten, welche bei einem mit Dampf gesättigten Raume ihr Maximum erreicht. Dieses Maximum beträgt aber gewöhnlich mehrere hundert Volumina des adsorbirenden Körpers, und wenn man die Größe der Poren dem Volumen des im Maximum adsorbirten flüssigen Wassers gleich setzte, so würde das specifische Gewicht des adsorbirten Dampfes, im Falle er die Höhlungen gleichmäßig ausfüllte, dem des flüssigen Dampfes wenig nachstehen (Siehe unten §. 177.).

§. 164. Wenn man daher annehmen wollte, daß das Wasser in dem porösen Körper als Dampf existirt, so müßte man erstlich in dem festen Körper die ungeheure Anziehungskraft von nah an 600 Atmosphären voraussetzen, und dann wieder dem Dampfe eine Bedingung seiner Existenz geben, die im freien Raume gänzlich fehlt, wo er schon bei einer weit geringern Compression hätte präcipitirt

werden müssen. Wenn man ferner einen mit flüssigem Wasser gesättigten Körper in einen noch nicht ganz gesättigten Raum bringt, so würde ein Theil verdampfen, der übrig gebliebene Theil aber würde seine Natur gänzlich geändert haben und aus Wasser zu einem comprimirten Dampfe geworden sein, der nur durch die Kraft der Anziehung zurückgehalten wird, sich als Gas auszudehnen.

Anzunehmen, daß der Dampf in dem festen Körper ebenfalls fest, als Eis, existire, wäre eine Hypothese, für welche gar keine Analogie spricht, die keine einzige Schwierigkeit beseitigt und mit der Geschmeidigkeit der feuchten Fasern und Zellgewebe unvereinbar ist. Auch ist diese Ansicht, so viel ich mich erinnere, noch nicht aufgestellt worden.

§. 465. Es bleibt also nur der flüssige Zustand übrig, und für diesen sprechen auch alle Erscheinungen. Die Wärme, welche bei der Adsorption frei wird, kann zwar als Compressionswärme angesehen werden, aber sie ist wahrscheinlich die Evaporationswärme, die bei jeder Verdampfung gebunden, bei jeder Präcipitation frei wird. Der Zustand des Wassers an der innern Seite der Poren ist ferner unstreitig identisch mit dem, welcher an der äußern Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers statt findet, und dieser ist allem Anscheine nach von dem des verbreiteten Tropfens nicht verschieden. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß auch der adsorbirte Wasserdampf sich als Wasser in den Poren befindet und keiner Metamorphose bedarf, um zu adsorbirtem Wasser zu werden.

Der einzige Unterschied in den Eigenschaften dieses Wassers von dem gewöhnlichen besteht in der geringern Flüchtigkeit, und der äußere Dampf bedarf daher auch einer geringern Elasticität, um eine neue Dampfentwickelung zu verhindern. Das adsorbirte Wasser ist in dieser Beziehung dem Wasser in Salzlösungen gleich, wo sein Dampf ebenfalls eine um so geringere Elasticität hat, je weniger sich von ihm in einem gewissen Volumen befindet. (Siehe unten den Abschnitt von der Auflösung.)

Die Adsorptionsfähigkeit der porösen Körper ist unter 0^0 nicht kleiner, als in höhern Temperaturen; der Eisdampf wird eben so gut adsorbirt als der Wasserdampf. Wenn man annimmt, daß in dem porösen Körper der Wasserdampf als Wasser ist, so muß man dasselbe auch vom Eisdampfe annehmen. Ich werde in der Folge mehrere Belege für die Richtigkeit der in diesem Paragraphen ausgespro-

chenen Ansichten geben, daß der Dampf sich bei jeder Temperatur und jeder Elasticität in den adsorbirenden Körpern als Wasser befindet.

Quantität des adsorbirten Dampfes.

§. 166. Zwei Fragen muß man beantworten, um die Adsorption eines Körpers vollständig zu kennen. Die absolute Menge des adsorbirten Wassers bei der Sättigung und den Gang der Adsorption im Verhältniß zur Dampfmenge des Raumes und zur Temperatur. Eben so wie man bei der Ausdehnung eines Körpers durch Wärme die Ausdehnung zwischen den Fundamentalpuncten und den Gang der Ausdehnung im Verhältniß zu dem Luftthermometer untersucht. Die erste Frage hat die Chemiker vielfach beschäftigt und namentlich über die Adsorption des Wasserdampfes durch Salz ist eine Menge von Untersuchungen angestellt. Für die Theorie der Adsorption sind sie jedoch von keiner Wichtigkeit, denn sie geben sehr complicirte Resultate. Erstlich ist die Textur oder die Zertheilung der Salze von großem Einflusse, der oft denjenigen ihrer Bestandtheile überwiegen mag. Zweitens sättigt sich das adsorbirte Wasser mit dem Salz und bildet eine Auflösung, deren eigenthümliche Insorption (§. 215.) sich mit der Adsorption des Salzes combinirt, und diese zuletzt weit überwiegt, da die Salzlösungen alles Wasser, daß mit ihnen in einen Recipienten eingeschlossen ist, an sich ziehen. Drittens tritt zur Adsorption oft noch die chemische Bildung der Hydrate.

Auch bei einigen nicht auflöslichen Salzen, Erden und Metallen ist die Adsorption untersucht, theils aus agricultur-technischen, theils aus chemischen Zwecken. Die Anziehung zum Wasser war dabei nicht selten so kräftig, daß die letzten Antheile erst bei der Glühhitze ausgetrieben werden konnten, z. B. bei dem Platinstaub und vielen Salzen. Auch die Kohle adsorbirt 10 — 20 Procent ihres Gewichtes Wasserdampf und läßt die letzten Antheile nur sehr schwer fahren. Dieses erinnert an die Kraft, mit welcher der Aether von einer Queckſilberfläche zurückgehalten wird (§. 119.).

§. 167. Ueber die Adsorption von Zeuchen hat Rumford einige Versuche angestellt. Er brachte faſrige Stoffe aus einem warmen, trocknen Zimmer in ein kaltes, feuchtes und von da in einen Keller, wo die Feuchtigkeit ihr Maximum erreicht haben

mußte, ließ sie lange genug an jedem Orte, um sich mit dem Dampfe der Luft ins Gleichgewicht zu setzen, und beobachtete die Zunahme des Gewichts. Folgende Tabelle enthält diese Zunahme im Keller, das Gewicht im trocknen Zimmer = 1000 gesetzt.

Schafwolle	163.	Taftscharpie	103.
Biberpelz	125.	Feiner Flachs	103.
Hasenpelz	115.	Leinwandscharpie	82.
Eiderdaunen	112.	Baumwolle	89.
Rohe Seide	107.	Goldtressenfaden	00.

Setzt man die Werthe dieser Tabelle = b und die Zunahme der Gewichte am mittleren Standorte, auf gleiche Weise berechnet = a, so ist bei allen untersuchten Körpern

$$b : a \text{ nahe} = 1{,}90$$

mit Abweichungen, die innerhalb der Beobachtungsfehler fallen.

§. 168. Außer einer Menge von Bemerkungen über die Adsorption, welche in den chemischen Abhandlungen gelegentlich vorkommen, sind in folgenden Arbeiten viele Versuche enthalten.

Ueber Adsorption von Wasser durch auflösliche Salze;

Cadet Journ. de Phys. 1805. LX. p. 291; Gehlen Journ. I. p. 119.

Configliachi ibid. 1813. LXXVI. p. 238. Von der Elasticität des Dampfes über hygroskopischen Substanzen. Diese für Salzlösungen gute Methode hat bei Configliachi keine brauchbaren Resultate gegeben.

R. Brandes Schweigg. Journ. 1827. LI. p. 420.

Gayluſſac Ann. Ch. Phys. 1837. XXXIII. p. 334; Gilb. Annal. XLII. p. 117. Ueber das Verhältniß der Zerfließbarkeit zum Siedpuncte.

Ueber die Adsorption bei unauflöslichen Salzen und Erden:

Leslie Ann. Chim. Phys. 1817. IV. p. 333. 443; V. p. 334. Er ist originell in seinen Ansichten, scharfsinnig in ihrer Entwicklung und Darstellung. Ein großer Verehrer mathematischer Formeln, die er aber oft sehr zur Unzeit, bei quantativ ungenauen Beobachtungen anwendet. Ein guter Experimentor, und darin Lambert, dem er sonst in seinem ganzen wissenschaftlichen Charakter sehr ähnlich ist, etwas überlegen. Aber er steht tief unter ihm an Gelehrsamkeit in der Physik und Mathematik, und

beging eine Menge von Fehlern, die er bei weniger Geringschätzung fremder Arbeiten vermieden haben würde.

Griffith Lond. Yu. Journ. of Science, 1825. XIX. p. 92. Adsorption von Erden.

Schübler Gilb. Annal. 1815. LI. p. 228; Schweigg. Journ. 1817. XXI. p. 189. Adsorption von Ackererde und derjenigen reinen Erden, welche die Hauptbestandtheile derselben sind.

Butini, über die Magnesia, kenne ich bloß aus Saussure's Hygrometrie, der seine Untersuchungen über die Ausdehnung des Volumens durch Feuchtigkeit sehr rühmt.

Celsius hat einige freilich sehr rohe Versuche über die Ausdehnung des Holzes, wenn es von 14^0 auf 0^0 und von 0^0 auf -14^0 abgekühlt wird. Die von ihm beobachtete Expansion durch Erkältung kann nur von der Feuchtigkeit herrühren.

B. Thompson (später Graf Rumford) Phil. Transact. 1787. p. 240. Scharfsinnig und genau in seinen Versuchen, klar, selbst elegant in seinen Schriften, in den Erklärungen sich vor jeder Ausschweifung hütend, in der Regel gut bekannt mit den Arbeiten anderer, sehr thätig und den technischen Standpunct mit Eifer verfolgend, gehört er zu den ausgezeichnetsten Physikern seiner Zeit. Durch seine Unbekanntschaft mit der Mathematik und die Vielseitigkeit seiner Arbeiten wurde er jedoch von der Verfolgung eines für die Wissenschaft allein wichtigen Gegenstandes zurückgehalten. Sein Name wird daher, wie der der Geistesverwandten Franklin und Wollaston, nur bei einzelnen Untersuchungen genannt.

Gang der Adsorption.

§. 169. Die wenigen genauen Beobachtungen, die man über den Gang der Adsorption besitzt, verdankt man den Bemühungen der Physiker gute Hygrometer zu erlangen. Die erste Bedingung eines guten Hygrometers ist: unter gleichen Umständen immer auf denselben Punct zurückzukehren. Diese erfüllt kein Körper aus der organischen Welt, ja vielleicht kein Körper ganz vollständig. Nach dem Tode des Thieres oder der Pflanze ziehen einige Röhren sich zusammen und bilden Fasern, ein großer Theil der Feuchtigkeit entweicht auf immer; ein andrer Theil geht eine chemische Verbindung mit der Substanz des Organs ein; ein dritter endlich ist durch die Prosaphie an dasselbe gebunden und kommt und geht,

je nachdem die Dampfmenge des umgebenden Raumes steigt und fällt. Aber ganz unveränderlich ist der Körper auch nach längerer Zeit nicht geworden, denn es sind zwei mit chemischen Processen verbundene Tendenzen in ihm, die beide zu einer gänzlichen Veränderung seines Zustandes führen.

Erstlich streben die Theile des Körpers sich einander zu nähern und die Höhlungen zu verengen. Das Wasser entweicht auf immer, die festen Theile werden spröde und hart und verwandlen sich zuletzt in einen Moder, dessen einzelne Körnchen vielleicht krystallinisch sind. Dieser Proceß wird durch lange Dürre und starken Druck befördert. Etwas ähnliches findet sich auch nach Fournet (Schweigg. Journ. 1834. II. p. 369.) bei anorganischen Stoffen, Porzellanerde, Speckstein und andre Substanzen bleiben, so lange sie in der Erde liegen, weich. Aber an der Luft verlieren sie nach einiger Zeit ihre Feuchtigkeit auf immer und nehmen sie selbst in Wasser nicht wieder auf. Von dem Streben aller porösen Körper die Poren zu verengen, werde ich bei der Cohärenz der festen Körper mehrere Beispiele mittheilen.

Die zweite Tendenz ist der ersten diametral entgegengesetzt. Die Substanzen lockern sich auf, der Zusammenhang nimmt in allen Richtungen ab, und die Masse verwandelt sich zuletzt in Gallerte. Dieser Vorgang wird besonders durch Nässe und durch häufigen Wechsel von Feuchtigkeit und Trockniß begünstigt.

Beide Tendenzen halten sich jedoch einander größtentheils das Gleichgewicht, und es können Jahrhunderte verfließen, ehe eine derselben entscheidend überwiegt und die Umwandlung vollendet.

§. 170. Den Grad der Feuchtigkeit eines Raumes kann man durch die Veränderungen im Gewicht oder in den Dimensionen des adsorbirenden Körpers messen. Die erste Methode scheint zuverlässiger zu sein. Die Kohle nimmt oft 0,18 ihres Gewichtes Wasser aus der Luft auf und ein schiefriges Gestein von dem mittleren Laufe der Wolga, das Lowitz als hygrometrische Substanz empfahl, sogar über 0,30. Aber diese Körper sättigen sich nur sehr langsam mit der Feuchtigkeit und sind auch wie alle meterrologische Instrumente, die auf Abwägen beruhen, unbequem. Man zog es daher vor, die Adsorption durch die Veränderungen der Dimensionen zu bestimmen, bald durch die Verlängerung eines Streifens, bald durch die Höhe einer Queckſilbersäule, die von einer organi-

schen Membran umgeben ist. Sauſſure und Deluc, die sich mit der Verbesserung der zu ihrer Zeit sehr unvollkommenen Hygrometer viel beschäftigt haben, untersuchten eine Menge von Substanzen organischen Ursprunges, um einen Stoff zu finden, der für die Luftfeuchtigkeit hinlänglich empfindlich und in seinem Gange gleichförmig war. Sauſſure hat nur seine Beobachtungen über das Menſchenhaar, das er allen übrigen Substanzen vorzog, bekannt gemacht. Deluc dagegen hat, in Folge eines Streites mit Sauſſure, außer den Versuchen über das Fiſchbein, dessen er sich in seinen Hygrometern bediente, auch über andre Stoffe etwas angeführt. Aus diesen und einigen zerstreuten Beobachtungen habe ich einige Resultate abgeleitet, die ich der Mittheilung werth halte.

§. 171. Alle Beobachtungen über die Verlängerung eines hygroſkopischen Streifens zerfallen in drei Klassen:

1. Wo die Längenrichtungen der Streifen den großen Dimenſionen der Poren parallel gehen.

2. Wo sie der kleinsten Dimension parallel gehen.

3. Wo kein Unterschied der Art sich findet, indem entweder die Streifen schief geschnitten, oder die Poren nicht regelmäßig gelagert sind, oder der beobachtete Körper ein Aggregat mehrerer regellos gelagerter Theile ist.

Diese drei Klassen gehen durch Mittelstufen in einander über, und wenige Körper mögen den Charakter einer Klasse ganz rein aussprechen. Indessen kann man als Repräsentanten der erſten Klasse das Menschenhaar, die Holzfaser, das Fischbein in seiner gewöhnlichen Lage annehmen; der zweiten Klasse, Holzstreifen und Fischbein, perpendiculär auf die Fasern geschnitten; der dritten Klasse, Horn, Elfenbein, Wolle, vielleicht auch Papier.

§. 172. Die Adsorption von Dampf wirkt wie die von Wasser nicht nach allen Richtungen gleich. Am stärksten ist die Verlängerung nach der auf den Kanälen perpendiculären Richtungen; weit schwächer ist sie diesen Richtungen parallel. Längenstreifen werden daher weit weniger verlängert als Querstreifen, und in gewissen Fällen werden sie sogar durch eine Vermehrung der Feuchtigkeit verkürzt. Bei den Querstreifen von Fischbein ist die Ausdehnung im Maximum der Feuchtigkeit etwa 0,1 der Länge, bei einem Haar dagegen, wen es gut ausgelaugt ist und die Poren also von öligen Stoffen befreit sind, 0,025, unausgelaugt nur 0,005 — 0,006.

Zwar beziehen sich beide Angaben nicht auf denselben Körper, aber es ist nicht wahrscheinlich, daß die Verlängerung des Fischbeinstreifens den Fasern parallel, von der des Haares sehr verschieden ist. Ueber die Ausdehnung desselben Körpers nach beiden Richtungen, der longitudinalen und transversalen, sind mir keine Versuche bekannt.

§. 173. Um die Beobachtungen mit einander vergleichen zu können, habe ich sie folgendermaßen berechnet.

Der Punct der größten Trockenheit, wo stark adsorbirende Körper, wie concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium, Aetzkalk, kein Wasser mehr entziehen konnten, ist = 0 gesetzt. Der Punct, an dem sich der Stoff in vollkommen feuchter Luft befand = 100, der Zwischenraum ist in gleiche Theile zerlegt. Diese Scale weicht also von der delucschen ab. Er hatte den Punct, wo die Körper das flüssige Wasser im Maximum adsorbirt hatten, = 100 gesetzt, und es stimmt 80° Del. nach Saussure's und Deluc's eignen Versuchen ungefähr mit 100 unsrer Scale überein. Bei den Spänen wurde die Gewichtszunahme auf eine ähnliche Weise eingetheilt. Bei der Interpolation nahm ich nur auf die 2 oder 4 benachbarten Glieder Rücksicht. Die auf das Haar sich beziehenden Spalten enthalten den Stand des Haarhygrometers im Vergleich mit dem Fischbeinhygrometer nach Deluc's Beobachtungen, die mit einigen spätern Angaben übereinstimmen.

Fischbein.	Tannenholz.		Federkiel.		Haar.
Querstreif.	Späne.	Querstreif.	Späne.	Querstreif.	Längenfaser.
12,5	12,0	13,4	16,7	12,4	29,4
25,0	29,1	26,3	33,3	24,7	50,5
37,5	42,5	39,2	46,2	36,6	68,8
50,0	54,1	52,4	56,2	49,2	78,3
62,5	63,7	65,9	67.0	60,9	86,1
75,0	76,8	76,9	77,5	73,1	91.6
87,5	86,0	89,4	88,9	86,4	95,6
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,0

§. 174. Wenn man bedenkt, daß diese Versuche wahrscheinlich nur einmal angestellt und ihre Beobachtungsfehler sehr groß sind; so ist die Gleichförmigkeit in dem Gange der drei Querstreifen überraschend. Die Verschiedenheiten in der Textur von Fischbein und Federkiel sind so groß, daß man sie unter den organischen

Körpern mit regelmäßigen Fasern kaum größer finden kann. Es hat daher der Satz einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich: daß der hygrometrische Gang aller Körper organischen Ursprunges perpendiculär auf die Fasern gleichförmig ist. Es ist interessant zu bestimmen, ob auch anorganische Körper wie Asbest diesem Gesetze folgen.

Die Zunahmen der Gewichte, welche an zwei sehr verschiedenen Körpern, dem Tannenholz und Federkiel, beobachtet sind, haben einen von einander und dem des Fischbeins ebenfalls wenig verschiedenen Gang. Man darf daher der Vermuthung Raum geben, daß die Gewichtszunahme und die Ausdehnung der Querfasern in organischen Körpern mit parallelen gleichförmigen Fasern, wenn man sie sorgfältig untersuchte, einen hygrometrischen Gang zeigen würden, der überall fast parallel ist.

In den oben §. 167 mitgetheilten Beobachtungen von Rumford über die Adsorption mehrerer flüssiger Körper fand sich ebenfalls bei aller Verschiedenheit der absoluten Gewichtszunahmen ein hoher Grad von Gleichförmigkeit bei den relativen Werthen.

§. 175. Ein ganz andrer Gang findet sich im Haar. In der Nähe der vollständigen Trockenheit ist die Ausdehnung am stärksten; sie nimmt ab, je mehr Feuchtigkeit zutritt und wird in der Nähe des Maximums fast stationär, ja zuweilen retrograd. Offenbar wirken in diesen Körpern zwei Ursachen in entgegengesetzter Richtung. Durch die adsorbirte Feuchtigkeit werden die langgezogenen Poren noch länger. Der stärkere Transversaldruck strebt aber die lange Achse der Poren zu verkürzen und die oft spiralförmig gewundenen Fasern winden sich noch stärker. In niedrigen Feuchtigkeitsgraden überwiegt die Ausdehnung, je stärker aber die Feuchtigkeit wird, desto kräftiger wirkt die Zusammenziehung bei einem gewissen Grade der Feuchtigkeit halten sich beide Tendenzen, die ausdehnende und die zusammenziehende, das Gleichgewicht, und bei einem noch höhern Grade überwiegt die letztere und die Faser wird kürzer (Vergleiche den Vorgang bei Adsorption von Wasser.).

Bei gut ausgelaugtem Haar ist das Maximum des Volumens nicht weit vom Maximum der Feuchtigkeit entfernt, jedoch zuweilen schon bei 94° unsrer Scale, und dieses ist so häufig, daß Saussure diese Haare, die nach seiner Scale nur etwa 2° abweichen, als hinlänglich genau, nicht verwerfen wollte. Im Gänsekiele,

nach den Längenfasern geschnitten, ist dieses Maximum bei 87°; im Tannenholze bei 67 und im Buchsbaum gar bei 25° der Fischbein-Scale.

§. 176. Die Körper der dritten Klasse stehen zwischen denen der beiden andren Klassen.

Bei 62½ unsrer Scale würde ein

	Längenstreifen	Querstreifen
von Elfenbein	67,[illegible]	58,[illegible]
Horn	82,2	77,0
Schildpatt	72,8	

zeigen, wenn man aus ihren Hygrometern construirte und sie nach unsrer Weise eintheilte.

§. 177. Auch zwischen der Adsorption des Dampfes im Maximum und des Wassers im Maximum findet unter verschiedenen Körpern eine große Uebereinstimmung statt. Setzt man wie vorher das Maximum der Adsorption von Dampf = 100 so ist die Adsorption des Wassers im

Fischbein	125	bei Querstreifen nach der Länge,
Federkiel	128	bei Querstreifen " " "
	129	bei Spänen nach Gewicht,
Tannenholz	128	bei Querstreifen nach der Länge,
	120	bei Spänen nach Gewicht;

bei dem lowitzischen Steine (§. 170.) = 132 nach Gewicht. Alle diese Angaben sind jedoch nur annähernd.

In den Längenfasern stimmen bei dem besten Haare beide Maxima nahe überein, bei minder gutem Haar aber und allen ähnlichen Substanzen ist das Maximum des Wassers kleiner als das Maximum des Dampfes, indem die Adsorption des Wassers die schon bei der Adsorption des Dampfes begonnene Zusammenziehung vermehrt.

§. 178. Bei der Ungleichförmigkeit in den Veränderungen, welche die Adsorption in den porösen Körpern hervorbringt, ist jede Scale, welche auf dem Gange der Adsorption eines festen Körpers beruht, willkührlich und erlangt erst ihre Bedeutung, indem man sie auf die Elasticität des Dampfes selbst reducirt. Deluc selbst hat keine vergleichende Beobachtungen über den Gang seines Hygrometers und die Luftfeuchtigkeit bekannt gemacht. Ueber das saussure'sche

Hygrometer besitzen wir aber von Saussure selbst und einigen neueren Physikern eine Reihe von Untersuchungen. *)

Gayluſſac (Biot Traité de Physique 1816. II. p. 199.) und Prinſep (London Qu. Journ. of Science 1827. XXII. p. 34.) setzten ihre Hygrometer in den Dampf von verdünnten Schwefelsäuren und Salzlösungen; dessen Elasticität sie beobachtet hatten. Melloni Ann. Ch. Ph. 1830. XLIII. p. 39. bestimmte die einem Hygrometerstande entsprechende Dampfelasticität unmittelbar. Ich habe alle drei Reihen berechnet, um zu zeigen, wie verschieden die Resultate selbst zwischen guten Beobachtern sein können; wenn sie sich verschiedener Instrumente bedienen. Besonders groß sind die Abweichungen bei schwachen Feuchtigkeitsgraden, wo das Hygrometer durch eine geringe Zunahme in der Dampfmenge um mehrere Grade erhöht wurde. Die Spalte für das deluc'sche Hygrometer habe ich aus der vergleichenden Tabelle zwischen seinem und Saussure's Hygrometer, die Deluc selbst gegeben hat (§. 173.), berechnet und dann um allzugroße Anomalien zu vermeiden, die Reduction nach den von Biot berechneten und corrigirten Beobachtungen Gayluſſac's angestellt. Diese berechnete Tabelle habe ich ebenfalls aufgenommen. Auch Dulong hat ähnliche Beobachtungen angestellt, und dabei sogar das deluc'sche Hygrometer unmittelbar beobachtet. Aber seine Instrumente waren nicht genau. Saussure's Hygrometer zeigte bei dem Maximum 102 statt 100 – 98; Delue's 70 statt 80. Seine übrigen Angaben weichen auch sehr bedeutend von den obigen ab; ich habe sie daher nicht angeführt.

Die Dampfelasticität im Maximum ist = 100 gesetzt.

---

*) Böckmann (Gilb. Annal. XV. p. 360.) hat viele vergleichende Beobachtungen über die Hygrometer von Deluc, Saussure und Leslie angestellt. Das letzte beruhet, wie das von August, auf der Abkühlung einer mit feuchtem Stoffe umbundenen Kugel, ist aber weit unvollkommener. Allein es läßt sich durchaus nichts aus den Beobachtungen ableiten; denn die Grade Del. die einem und demselben Grade Sauss. entsprechen, weichen um 10° und darüber von einander ab, und umgekehrt. Vermuthlich hatte Böckmann die Instrumente nicht zur Ruhe kommen lassen, oder es waren sonst störende Zufälle eingetreten. Aber man sieht daraus, wie leicht man sich bei solchen Beobachtungen irren kann.

Elasticität d. Dampfes.	Gaylussac Beob. Sauss. Hygr.	Differ.	Gaylussac corrig. Sauss. Hygr.	Differ.
10	20,2	20,2	20,9	20,9
20	36,6	16,4	38,8	17,9
30	49,4	12,8	52,8	14,0
40	63,5	14,1	63,7	10,9
50	72,2	8,7	72,2	8,5
60	77,9	5,7	79,2	7,0
70	84,2	6,3	85,2	6,0
80	88,8	4,6	90,5	5,3
90	97,4	8.6	95,4	4,9
100	100,0	2,6	100,0	4,6

Elasticität d. Dampfes.	Prinsep Sauss. Hygr.	Melloni Sauss. Hygr.	Deluc Hygr.	Differ.
10	34,0	18,6	8,5	8,5
20	48,4	31,6	17,5	9,0
30	58,9	45,2	26,6	9,1
40	66,9	55,9	33,9	7,3
50	73,5	65,4	42,7	8,8
60	80,3	73,5	51,1	8,4
70	86,1	80,8	60,2	9,1
80	91,0	87,6	72,4	12,2
90	95,7	94.5	86,8	14,4
100	100,0	100,0	100,0	13,2

§. 179. Die Unregelmäßigkeit in den Differenzen rührt von Beobachtungsfehlern und Fehlern der Instrumente her. Bei den corrigirten gaylussac'schen Beobachtungen fehlt sie nur in Folge der Correction. Die Differenzen nehmen bei dem Haarhygrometer rasch zu und verhalten sich an den beiden Endpuncten der Tabellen bei Gaylussac und bei Prinsep wie 1 : 8. Bei Deluc's Hygrometer bleiben die Differenzen beinahe constant bis gegen 0,70 der Sättigung und haben von da bis 100 zwar einen höhern, aber ebenfalls beinahe constanten Werth. Es könnte wohl sein, daß die beiden Scalen für die Elasticität des Dampfes und für das deluc'sche Hygrometer, auf die oben angegebene Weise modificirt, einander ganz parallel laufen, wenn sie unmittelbar, und nicht durch das ungenaue saussure'sche Instrument, mit einander verglichen werden. Da überdieses der hygrometrische

Gang bei allen Querfasern und bei der Gewichtszunahme einander sehr nahe stehen (§. 171.), so würde in diesem Falle die Zunahme der Gewichte der Zunahme der Dampfmenge in der Luft direct proportional sein. Vielleicht entschließt sich ein mit den nothwendigen Mitteln ausgerüsteter Physiker, die für die Hygrometrie und die Adsorptionslehre so wichtige Frage, welche die Uebereinstimmung der Quantität des adsorbirten Dampfes und der Verlängerung eines Querstreifens mit der Elasticität des freien Dampfes betrifft, durch Versuche zu beantworten.

§. 180. Ich habe bisher von der Temperatur nichts gesagt, denn für so groß man auch ihren Einfluß in allem, was den Dampf betrifft, halten sollte, so ist er doch für die Adsorption nur von geringer Bedeutung. Der Punct der größten Trockenheit ist natürlich constant, bis auf die unbeträchtliche Ausdehnung, welche die Wärme im Körper hervorbringt. Es ist bekannt, daß diese den Fasern parallel sehr unbedeutend ist. Für Streifen perpendiculär auf die Fasern fehlt es zwar an genauen Beobachtungen, aber wahrscheinlich ist auch hier die Ausdehnung durch Wärme beträchtlich kleiner als die durch Adsorption hervorgebrachte.

Das Maximum der Dampf-Adsorption war nach den directen Versuchen von Saussure, bis auf eine kleine, noch unbekannte Correction, unabhängig von der Temperatur innerhalb ihrer gewöhnlichen Variationen in der Atmosphäre. Ein Haarhygrometer in einem Recipienten mit benetzten Wänden eingeschlossen, wo es sich mit Dampf sättigt, verändert seinen Stand nicht, wenn die Temperatur sich ändert, obgleich die Menge des Dampfes mit der Zunahme der Temperatur in raschem Verhältnisse steigt. Da die beiden Endpuncte von der Temperatur unabhängig sind, so ist es auch von den mittlern Graden wahrscheinlich, daß der Hygrometerstand, der einer Dampfmenge entspricht, die sich zu dem Maximum der Luftfeuchtigkeit wie 1:m verhält, von der Temperatur und der absoluten Dampfmenge beinahe unabhängig ist. Nach einer vereinzelten Angabe von Gaylussac gab salzsaurer Kalk bei 10° C. einen Hygrometerstand von 71 Grad Sauss.; bei 20° 2 C. 73,8 Grade Sauss. Dieser Unterschied ist nicht entscheidend. Andre Beobachtungen fehlen gänzlich.

§. 181. Aus der Adsorption von Wasserdampf durch faserige

Körper organischen Ursprunges kann man daher mit Wahrscheinlichkeit folgende Gesetze ableiten, welche wegen ihrer Wichtigkeit für die Textur der Körper und die Adsorptionslehre es wohl verdienen, mit guten Instrumenten geprüft zu werden.

1) Die Menge des adsorbirten Dampfes hängt ab von der Textur der Körper.

2) Die Mengen Dampf, welche ein Körper bei einer jeden Temperatnr in verschiedenen Feuchtigkeitsgraden aufnehmen kann, sind nahe proportional der Elasticität des Dampfes in dem umgebenden Raume.

3) Die adsorbirten Dampfmengen im Maximum sind beinahe unabhängig von der Temperatur.

4) Die Ausdehnung der Streifen perpendiculär auf die Fasern ist für denselben Körper nahe proportional den Gewichten des aufgenommenen Dampfes.

5) Alle auf der Ausdehnung von Streifen, perpendiculär auf die Fasern, und auf Gewichtszunahmen beruhenden Hygrometer haben einen beinahe gleichförmigen Gang.

6) Parallel den Längenfasern ist die Größe der Ausdehnung kleiner als perpendiculär darauf. Sie ist für einen gleichen Zuwachs an Dampf um so kleiner, je höher bereits die Feuchtigkeit ist. Bei einem gewissen Feuchtigkeitsgrade ist die Ausdehnung ein Maximum und sie geht in Verkürzung über, wenn die Adsorption noch zunimmt.

Hygrometer.

§. 182. Zum Schluß noch einige Worte über die Adsorptionshygrometer. Jedes meteorologische Instrument muß drei Bedingungen erfüllen. Erstlich bei gleichem atmosphärischen Zuständen auf denselben Punct zurückkehren. Zweitens feste Grenzpuncte haben und zwischen diesen einen constanten Gang. Drittens den atmosphärischen Veränderungen schnell genug folgen nnd sie mit einer für den Zweck hinlänglichen Schärfe anzeigen.

In allen drei Beziehungen sind die beiden Instrumente von Saussure und Deluc einander beinahe gleich. Zwar ist Deluc's Hygrometer von Fischbein nach den Querfasern, wie es gewöhnlich gemacht wird, etwas minder empfindlich als Saussure's

Haarhygrometer. Es würde ihm aber nicht nachstehen, wenn man es, wie Deluc vorschlägt, so dünn machte, daß ein Streif von 1000 Millim. Länge und 2 Millim. Breite nur etwa 0,1 — 0,05 Gramme wiegt, also eine Dicke von etwa 0,03 — 0,05 Millim. hat.

Ueber die Art, die Grenzpuncte zu bestimmen, hatten Deluc und Sauſſure einen lebhaften Streit. Bei dem Puncte der größten Trockenheit sind sie nur in Handgriffen von einander verschieden. Aber das Maximum der Feuchtigkeit glaubte Deluc durch Eintauchen in Wasser, Sauſſure hingegen durch eine vollkommen luftfeuchte, aber nicht naſſe Umgebung hervorzubringen. Hier hat Sauſſure Recht. Denn man will nicht das Vermögen Wasser zu adsorbiren, beobachten, sondern nur die Adsorption von Dampf. Indessen hat dieser Streit auf die Güte der Hygrometer selbst keinen Einfluß. Das Haar adsorbirt aus dem Wasser ungefähr dieselbe Menge Feuchtigkeit, wie aus der Luft, und bei dem Fischbein, wo der Unterschied bedeutend ist, darf man nur die Scale reduciren. 80° Del. entspricht dem Maximum der Luftfeuchtigkeit. Man setze diesen Grad = 100 und berechne daraus, wie ich es im §. 178. gethan habe, die Zwischengrade. Auch ist es zweckmäßig, die größte Wasser-Adsorption, wenigstens neben der größten Dampf-Adsorption, zu beobachten. Denn jene kann mit großer Genauigkeit bestimmt werden; diese wird aber durch die kaum vermeidliche Adsorption von flüssigem Wasser in einem mit dem Dampfe gesättigten Raume sehr schwankend. In allen andren Beziehungen ist Deluc's Instrument dem sauſſure'schen überlegen. In höhern Graden der Feuchtigkeit wird Sauſſure's Scale ganz illusorisch, indem sehr bedeutende Unterschiede in der Dampfmenge durch die Beobachtungsfehler oder die unvermeidlichen Mängel des Instruments verdeckt werden. Der Gang der Deluc'schen geht dagegen der Feuchtigkeitsmenge in der Luft beinahe parallel.

Das Fischbein ist ferner weit dauerhafter als das Haar. Es kann stark gespannt werden, während ein die gewöhnliche, sehr geringe Spannung etwas überschreitendes Gewicht eine bleibende Aenderung im Haare hervorbringt. Dieses ist für ein Instrument, das auf Reisen manchem Stoße ausgesetzt ist, eine Sache von Wichtigkeit.

§. 183. In dem Streite, der sich zwischen beiden Männern ber die Vorzüge ihrer Hygrometer erhob, hat man für Sauſſure

entschieden. Er war unstreitig der größere Naturforscher. Sein Hygrometer hatte er mit weit höherer Sorgfalt studirt, als Deluc das seinige. Das Haarhygrometer wurde daher gewöhnlich beobachtet und verbessert, während das Fischbeinhygrometer in dem unvollkommnen Zustande, in dem es Deluc zuerst construirte, geblieben ist. Indessen geht aus dem oben gesagten hervor, daß das Haar dem Fischbein keinesweges überlegen ist. Nach Saussure's eigener Versicherung ist ein Haar, bei dem nicht alle Vorschriften, die er giebt, genau befolgt werden, unbrauchbar. Bei dem Fischbeinhygrometer ist dieses nicht zu befürchten. Es bleibt selbst bei weniger sorgfältiger Construction ein brauchbares Instrument. Denn wenn ganz verschiedene Körper wie Fischbein, Holz, Federkiel senkrecht auf die Fasern geschnitten, einen fast gleichförmigen Gang haben: so kann der Gang in zwei Fischbeinstreifen nicht bedeutend verschieden sein.

§. 184. Die Frage über die Vorzüge dieser beiden Hygrometer scheint jetzt ganz unnütz zu sein, da man beide als ungenau verworfen und durch andre, die Dampfmenge in der Luft weniger mittelbar zeigende Instrumente ersetzt hat. Man ist hierin zu weit gegangen. Das daniell'sche Hygrometer verlangt eine gewisse Zeit, ehe die Beobachtung vollendet ist, zuweilen einige Minuten, und zeigt den Niederschlag der Feuchtigkeit zu spät an. Auch muß der Raum, in welchem man es beobachtet, völlig frei sein. Das august'sche Psychrometer kann leichter beobachtet werden, aber in einem geschlossenen Recipienten über einer Salzlösung kann man es ebenfalls nicht gebrauchen, und die Methode, aus der Differenz der beiden Thermometer die Feuchtigkeitsmenge in der Luft zu berechnen, ist, wie ich fürchte, nicht ganz zuverlässig. Die Hygrometer von Saussure und Deluc können dagegen so bequem beobachtet werden, wie Thermometer. Man kann sie, wenn sie einmal eingetheilt sind, in Recipienten stellen und die Elasticität des Dampfes von wässrigen Auflösungen bestimmen, eine Anwendung der Hygrometer, welche, um die Natur der Auflösungen kennen zu lernen, von der größten Wichtigkeit ist. Freilich verändern sich die Hygrometer mit der Zeit, sie müssen corrigirt oder erneuert werden. Aber muß man nicht auch die Barometer von Zeit zu Zeit auskochen, und verändert sich nicht sogar der Nullpunct in den Thermometern?

§. 185. Die reiche Literatur der Hygrometer hat der fleißige und gelehrte Muncke in dem neuen gehlerschen Wörterbuche, Ar-

tikel Hygrometer, zusammengestellt. Das Material für die Untersuchungen des vorhergehenden Abschnittes findet sich größtentheils in:

H. B. Saussure. Versuch über die Hygrometrie. 1782. Uebersetzung, und kleine apologetische Aufsätze im Journ. de Phys. 1788. XXXII. p. 24. 98.

J. J. Deluc Neue Ideen über die Meteorologie. 2 Bände. 1786. Uebersetzung.

Derselbe Philos. Transact. 1791., 389.; und kleine meistens polemische Aufsätze im Journ. de Phys. 1788. XXXII. p. 135 u. a. O.

Saussure ist als ausgezeichneter Naturforscher anerkannt. Aber Deluc, der mit seinem Zeit- und Arbeitsgenossen Saussure zuweilen in feindliche Berührung kam, beurtheilt man mit zu großer Strenge. Aber auch er ist ein Naturforscher von bedeutendem Range. Seine Arbeiten verrathen Scharfsinn und Beobachtungsgabe, und sein Stil gehört, wenigstens in seinen praktischen Untersuchungen, zu den deutlichsten und bündigsten in der Physik. In allen diesen Beziehungen steht er Saussure nur wenig nach und ist dieser besonnener in seinen Urtheilen, so übertrifft ihn jener an Originalität, die ihn zwar oft zu Irrthümer verleitet, aber auch nicht selten, wie in der Verdampfungslehre, zum Wahren führt.

Adsorption der Dämpfe von Weingeist, Aether, Oelen.

§. 186. Saussure war der Meinung, und spätere Physiker sagen es ihm nach, daß das Haar-Hygrometer nur vom Wasserdampf ausgedehnt werde, gegen die Dämpfe von Alkohol, Aether, Oelen aber unempfindlich sei. Aber seine eigenen Versuche erweisen das Gegentheil. Im Aetherdampf stieg das Hygrometer auf 90°, im Weingeistdampfe gar auf 100°. Dieses soll zwar nach Saussure bloß von ihrem Wassergehalte herrühren; aber wenn ein mit Wasser gesättigter Körper in einen Recipienten mit Weingeist gebracht wird: so wird er, wie bei einer Salzlösung oder bei Schwefelsäure, einen Theil seines Wassers an die Flüssigkeit abtreten, denn Weingeist zieht aus der Atmosphäre Wasser an. Wenn dessen ungeachtet das Hygrometer steigt, so müssen Weingeist oder Aether adsorbirt sein. Es ist zu bedauern, daß diese Versuche, weil man sich auf Saussure's Autorität verließ, nicht wiederholt sind; man würde aus den höchsten Ständen der Hygrometer von Fischbein und Haar

über Dämpfen verschiedener Stoffe manchen Aufschluß über die Adsorption erlangt haben.

§. 187. Ueber die Quantität der absorbirten Dämpfe sind die Angaben sehr dürftig. Bei Aether und Weingeist würde sie sich durch das Gewicht finden lassen, aber bei vielen andren Stoffen ist sie so gering, daß man ihr Dasein nur durch den Geruch erkennt. Dieses ist freilich ein trügliches Kennzeichen, indem Kohlensäure und Wasser selbst, die in großer Menge adsorbirt sein können, ganz verborgen bleiben, während Moschus und andre ätherische Oele, die in einer für die Wage unmerklichen Quantität aufgenommen werden, unsre Sinne sehr stark anregen. Indessen giebt uns doch der Geruch eine annähernde Schätzung für die relative Quantität einer riechenden Substanz in verschiedenen adsorbirenden Stoffen. Da findet sich denn, daß diejenigen Stoffe auch auf die übrigen Dämpfe mit größerer Stärke wirken, welche den Wasserdampf in größerer Menge adsorbiren. Stark adsorbirend sind also: Kohle, gebrannter Thon oder Gyps, Wolle, Baumwolle, Pelzwerk, Federn, Papier, Holz und die meisten andren porösen Stoffe organischen Ursprungs.

Ueber die Adsorption des Dampfes von erhitztem Kampher hat Stark (Phil. Transact. 1833. p. 300.) einige Versuche angestellt. In Seide ist nach ihm die Adsorption am stärksten, dann folgen der Reihe nach Wolle, Baumwolle und Kartenpapier. In Beziehung auf die Farben finde aber eine merkwürdige Uebereinstimmung zwischen den Fähigkeiten, Wärme und Dämpfe zu adsorbiren, statt. Beide nämlich seien am stärksten bei der schwarzen Farbe, dann komme Blau, Braun, Orange, Gelb und zuletzt Weiß. Daß die Farben als solche keinen Einfluß auf die Adsorption von Dämpfen haben können, bedarf keines Beweises, und wenn wirklich die Adsorption in schwarzen Stoffen größer ist, als in weißen, so kann dieses nur von einer durch den Farbestoff erzeugten Veränderung in der chemischen Beschaffenheit oder in der Textur herrühren. Aber Stark hat gar nicht die Adsorption beobachtet, sondern nur eine Sublimation, und die Kampherтheile, deren Quantität zuweilen 0,3 des Gewichts des porösen Stoffes betrug, befinden sich gewiß nicht in demselben Zustand, wie ein adsorbirter Dampf, sondern unstreitig als ein Aggregat kleiner Krystalle im Innern der Seide u. s. w. Diese stärkere Präcipitation auf die auch die Wär-

me stark ausstralenden Stoffe rührt vielleicht davon her, daß sie die ihnen durch den Kampher zugeführte Evaporationswärme schneller verlieren als die minder gut-stralenden Stoffe, etwas kälter werden und so den Niederschlag des heißen Kampherdampfes erleichtern.

§. 188. Die von einem porösen Stoffe aufgenommene Quantität steht ferner, ganz wie bei dem Wasserdampfe, in einem gewissen Verhältnisse zur Elasticität des in der Atmosphäre befindlichen, gleichartigen Dampfes.

Liegen die absorbirenden Stoffe und die verdampfende Flüssigkeit z. B. Theeblätter und Kreosot in einem luftdicht verschlossenen Raume längere Zeit neben einander, so werden sich die Blätter mit dem Kreosotdampfe sättigen. Eine geringere Menge werden sie aufnehmen, wenn der Raum nicht luftdicht ist, und sich daher mit dem Dampfe nicht ganz sättigen kann. Werden die Blätter dem Bereich des Kreosotes entzogen, so verdampft, wie im Hygrometer in trockner Luft ein Theil des Wassers, so aus ihnen ein Theil ihres Kreosotes; die letzten Antheile desselben werden jedoch mit außerordentlicher Kraft zurückgehalten und sind hinreichend, um nach längerer Zeit und wiederholtem Auswaschen, wenn sie längst nicht mehr auf den Geruch' einwirken, einer Infusion einen Beigeschmack von Kreosot zu geben und ihren Genuß nachtheilig zu machen; obgleich die Quantität des noch vorhandenen Kreosotes lange kein Milliontel der Infusion betragen kann, wie sich aus einer Schätzung der Menge der verdampfenden Flüssigkeit und des absorbirenden Körpers ergiebt.

Was ich hier von Kreosot sagte, findet sich unstreitig auch bei vielen andren Stoffen vor, wo uns aber, wenn sie keinen starken Geruch haben, jedes Beobachtungsmittel fehlt. So ist es denkbar, daß ein Gas eine sehr starke Wirkung auf das Nervensystem hat, wie z. B. jene noch nicht ganz bekannte tödtliche Verbindung von Kohlenstoff, und dennoch unsere Geruchsnerven nicht merklich anregt. Wenn ein solches Gas von Baumwolle absorbirt wird, so bleibt es so lange darin, als es keine Communication mit der äußeren Luft hat, und kann, wenn es entweicht, sogar nach einem Zwischenraum von vielen Jahren und Breitengraden noch tödtlich werden.

§. 189. Man hat in neueren Zeiten die früher herrschende Ansicht von dem Verschleppen von Krankheitsstoffen durch Klei-

dungsstücke, Federn u. dergl. lächerlich zu machen gesucht. Dieser Spott ist ungegründet. Denn ein Aufnehmen und Fortführen eines materiellen Krankheitsstoffes stimmt mit den Gesetzen der Physik nicht nur vollkommen überein, sondern hat auch die Analogie andrer Stoffe für sich. Wenn ein Krankheitsstoff als Dampf oder Gas existirt, so muß er sogar adsorbirt werden und kann, wenn er wieder frei wird, Wirkungen hervorbringen, die sich von den ursprünglichen nur durch ihre Intensität unterscheiden. Ob diese Art von Fortpflanzung in der Cholera, oder Pest, oder den Pocken wirklich statt findet, kann ich nicht entscheiden. Dieß ist Sache der Aerzte. Allein die Art, wie diese Frage vor einigen Jahren unter den günstigsten Umständen behandelt wurde, und die Argumente, welche man für und gegen die Ansteckungsfähigkeit der porösen Stoffe angeführt hat, können bei denen, welche an die Strenge der Beobachtungen in der Physik und Chemie gewöhnt sind, wol von dem Muthe der Aerzte eine günstige Meinung erwecken, aber nur eine sehr ungünstige von der Zuverlässigkeit der Beobachtungen in der Medicin.

3. Adsorption der unter gewöhnlichen Umständen nur in Gasform vorkommenden Körper.

§. 190. Bei diesen Gasen kann man eine Methode anwenden, welche auch da noch genau ist, wo die Veränderungen im Gewicht oder im Volumen des adsorbirenden Körpers für andre Beobachtungsarten zu klein sind, indem man nämlich das Volumen des Gases bestimmt. Die Menge des adsorbirten Stoffes ist abhängig von der Elasticität der Gas-Atmosphäre, der Temperatur und der Beschaffenheit beider Körper. Um aber die Adsorption unter gewissen Umständen zu vollenden, ist gewöhnlich eine sehr bedeutende Zeit, zuweilen mehrere Wochen, und um das adsorbirte Gas zu entfernen, oft auch eine Temperatur nothwendig, durch welche der feste Körper in seiner Textur Veränderungen erleidet. Besonders sind es die letzten Antheile des Gases, die, wie bei dem Wasserdampfe, mit großer Kraft zurückgehalten werden. Nicht alle Experimentatoren haben dieses gehörig berücksichtigt, und ihre Angaben weichen daher mehr oder weniger von der Wahrheit ab.

§. 191. Die Adsorption steigt, wenn die Elasticität der Gas-Atmosphäre zunimmt. Unter dem Recipienten einer Luftpumpe ent-

weicht daher bei jedem Kolbenstoße ein Theil des Gases und man kann durch wiederholtes Pumpen das Gas bis auf kleine Rückstände ganz entfernen. Bei dem Wasserdampf war bei allen Dampf-Atmosphären, die nicht mehr als 0,7 des Maximums betrugen, die Adsorption der Dichtigkeit der Dampf-Atmosphäre nahe proportional (§. 179.) oder die Quantität des adsorbirten Dampfes nach dem Volumen berechnet, war unabhängig von der Elasticität der Dampf-Atmosphäre. Bei den andren Gasen sprechen einige Versuche für ein ähnliches Verhältniß. Nach einigen andren von Saussure angestellten Versuchen nimmt dagegen das adsorbirte Gasvolumen etwas zu, wenn die Elasticität abnimmt. Bei der Schwierigkeit, genaue Resultate zu erlangen, sind die negativen Versuche nicht entscheidend.

§. 192. Bei allen auf der Elasticität von Gasen beruhenden Processen, sie mögen bloß die Verbreitung in einem Raume (Siehe Elasticität der Gase §. 14.), oder die Verdampfung betreffen, hängt das Gleichgewicht nur von der Elasticität des homogenen Gases ab. Die Anwesenheit fremder Gase ist ohne Einfluß. So ist's auch bei der Adsorption. Eine hygroskopische Substanz nimmt in luftvollem Raume so viel Wasserdampf auf, wie im luftleeren. Bei der Adsorption anderer Gase findet sich dasselbe Gesetz. Die Anwesenheit eines fremden Gases verzögert nur die Wirkung etwas; der finale Zustand der Gase innerhalb und außerhalb des Körpers ist wie in einem sonst leeren Raume. Durch einen Strom eines heterogenen Gases kann man daher das adsorbirte Gas schnell entfernen, er wirkt wie ein Strom, aus dem man durch Pumpen das eingetretene Gas immer wieder entfernt. So wird Wasserdampf durch einen Strom trockner atmosphärischer Luft vertrieben, und Luft selbst durch einen Strom Wasserdampf.

Hierbei ist vorausgesetzt, daß das zweite Gas selbst nicht in merklicher Menge adsorbirt; wird denn sonst wird der Zustand des adsorbirten Gases im Innern des Körpers verändert, indem es nicht mehr bloß mit dem festen Körper, sondern auch mit dem zweiten adsorbirten Stoffe in Berührung kommt, welcher sowohl für sich als dadurch, daß er die Poren zum Theil ausfüllt, bald vermehrend bald vermindernd auf die Menge des ersten adsorbirten Gases einwirkt. Bei dem Wasserdampfe ist die Adsorption so stark, daß er von dem Dasein der meisten, nicht in zu vielen Vo-

lumen adsorbirten Gase unabhängig ist; aber diese Gase sind sehr abhängig von dem Dasein des Wassers. Kohlensäure z. B. wird in einer wasserhaltigen Kohle in viel geringerer Menge adsorbirt, als in einer reinen. Bei Ammoniak wird dagegen die Adsorption durch Wassergehalt vielleicht etwas vermehrt. Bei Versuchen über Adsorption, wo die Recipienten mit Wasser oder mit nicht ganz trockenem Queckſilber gesperrt waren, ist dieser Umstand wohl zu berücksichtigen.

§. 193. Von dem Einflusse der Temperatur weiß man bloß, daß ein Theil des adsorbirenden Gases durch Erwärmung ausgeschieden, und daß durch Glühen alles bis auf eine Spur entfernt wird. So haben wir es auch bei den Dämpfen gefunden, wo die Ursache nach dem §. 180. aufgestellten Gesetze darin lag, daß das Verhältniß einer Dampf-Atmosphäre von gewisser Dichtigkeit zum Maximum, um so kleiner wurde, je mehr die Temperatur stieg, und daß die adsorbirte Quantität nicht sowohl von der Elasticität selbst, als von jenem Verhältnisse abhängt.

§. 194. Die Beschaffenheit des porösen Körpers hat einen zwiefachen Einfluß auf die Größe der Adsorption: einen specifischen von seiner Substanz herrührenden, und einen formellen, der bloß von seiner Textur abhängt; der letzte läßt die Reihenfolge der Gase nach ihrer Adsorbirbarkeit unangetastet, bedingt aber die absolute Quantität, der erste würde dagegen auch die Reihenfolge abändern. Eben so wie die Höhe, welche eine Flüssigkeit in einer Haarröhre erreicht, bloß an die Weite des Kanals gebunden ist, sobald er benetzt ist; aber bei mangelnden Benetzung auch von der Substanz der Röhre abhängt.

§. 195. Um den Einfluß des Stoffes, aus dem der adsorbirende Körper besteht, zu zeigen, theile ich ein paar Versuchsreihen mit, die ich aus Th. von Saussure's Abhandlung berechnet habe. Die absolute Adsorption der Buchsbaumkohle bei einer Kohlensäure-Atmosphäre von der Elasticität der Luft beträgt 35 Volumina. Diese Kohle gab von allen Körpern, die Saussure untersucht hat, die stärkste Adsorption. Auf die Kohle folgte der Meerschaum, dessen absolute Adsorption 5,3 Volumina betrug. Diese Werthe sind = 1 gesetzt und danach die übrigen berechnet.

	Kohle.	Meerschaum.
Ammoniak	2,6	2,8
Salzsäure	2,4	—
Schweflige Säure	1,9	2,2
Schwefelwasserstoff	1,6	—
Stickstoffoxydul	1,1	0,71
Oelbildendes Gas	1,0	0,70
Kohlenwasserstoff	0,27	—
Sauerstoff	0,26	0,28
Stickstoff	0,21	0,30
Kohlenoxyd	—	0,23
Wasserstoff	0,05	0,08

Beide chemisch so verschiedenen Körper beobachten also bei ihren Adsorptionen beinahe gleiche Verhältnisse, deren Unterschiede vielleicht größtentheils von den bei diesen Versuchen sehr großen Beobachtungsfehlern abhängen. Dasselbe gilt von andren porösen Stoffen. Wenn man die Gase, deren Adsorption Graham in gebranntem Gyps beobachtet hat, nach der Stärke der Adsorption ordnet, von der größten beginnend, so findet sich die Reihe: Ammoniak, Schweflige Säure, Cyan, Schwefelwasserstoff, Kohlensäure, also identisch mit der vorhergehenden, so weit Graham und Saussure dieselben Stoffe beobachtet haben. Man darf daher als Regel aufstellen, daß die specifische Beschaffenheit des festen Körpers, die bei Kohle, Meerschaum und gebranntem Gyps so sehr verschieden ist, eine weit untergeordnetere Rolle in der Adsorption spielt, als die Textur.

§. 196. Die Substanz des Gases ist dagegen von entscheidendem Einflusse; aber ebenfalls nicht durch ihre chemische Constitution, sondern nur durch ihre Flüchtigkeit. Je weniger flüchtig ein Gas ist, je leichter es in einen flüssigen oder festen Zustand übergeht, desto stärker ist die Adsorption. Noch weit stärker als die oben genannten Gase werden adsorbirt die Dämpfe von Wasser, Weingeist, Aether, Blausäure, ätherischen Oelen, z. B. denen, die sich aus verbrennendem Taback, bei der Bildung von Wasserstoffgas aus Schwefelsäure und Eisen oder Zink, beim Faulen des Fleisches (Döbereiner) bilden, wo die in der Luft vorhandene Quantität bis auf eine nicht mehr wahrnehmbare Spur verschluckt wird. Unter den zur Zeit, als Saussure's Versuche angestellt wurden, für permanent gehaltenen Gasen werden diejenigen am stärksten adsorbirt, welche am

leichtesten flüssig gemacht werden können. Nach den schönen Versuchen von Riemann (Brandes Archiv 1831. XXXVI. p. 175.) ist die Reihenfolge der Gase nach der Leichtigkeit, mit der sie flüssig gemacht wurden, d. h. nach ihrer Concentration, wenn man sie als Dämpfe betrachtet:

Schweflige Säure, Ammoniak, Salzsäure, Stickstoffoxydul, Kohlensäure und Schwefelwasserstoff.

Diese Reihe ist zwar nicht identisch mit der von Saussure, aber sie zeigt einen so hohen Grad von Uebereinstimmung mit ihr, daß sie in Verbindung mit der starken Adsorbirbarkeit der flüchtigen Flüssigkeiten uns wol berechtigt anzunehmen, daß die Adsorbirbarkeit eines Gases im Ganzen um so stärker ist, je näher es seinem Maximum steht. In einigen Gasen, die noch nicht flüssig gemacht werden konnten, ist die Adsorbirbarkeit sehr schwach. Wenn man die Adsorption mit solcher Zuverlässigkeit zu beobachten vermöchte, daß die Beobachtungsfehler gegen die ganze Adsorption unmerklich werden, so würde man die zur Präcipitation nöthige Compression oder Abkühlung mit einiger Sicherheit aus dem Volumen des adsorbirten Gases ableiten können.

Es sind also zwei Momente für die Adsorption eines Gases oder Dampfes von Wichtigkeit, die Flüchtigkeit des gasförmigen und die Textur des flüssigen Körpers; die chemischen Charaktere beider Körper haben dagegen einen untergeordneten Einfluß, dessen Größe zu erkennen die bisher bekannten Beobachtungen nicht genau genug sind.

§. 197. Der Zustand, in den die Gase durch Adsorption versetzt werden, ist aus dem Vorhergehenden einleuchtend. Seitdem die Scheidewand zwischen Gasen und Dämpfen gefallen ist, kann auch der Zustand des adsorbirten Ammoniak oder der Kohlensäure nicht verschieden sein von dem des adsorbirten Schwefelkohlenstoffes, Aethers und Wassers; und die bisher noch nicht liquid gemachten Gase wird niemand von den übrigen trennen, der die dürftigen Mittel kennt, die wir in unsren Laboratorien besitzen, um Kälte und starke Compressionen hervorzubringen. Ist daher das Wasser, wie ich (§. 165.) zu erweisen suchte, in den porösen Körpern flüssig und überzieht es die Wände der Poren mit einer Haut, welche nach denselben Gesetzen haftet, wie die Alkoholschicht auf Quecksilber oder Glas, so haben wir in dem adsorbirten Sauerstoff,

Stickstoff und Wasserstoff nicht ein Gas, sondern ebenfalls eine flüssige Schicht, welche aber, der Wasserschicht in einem fast trockenen Raume gleich, nur sehr dünn ist, weil die Gase bei ihrer gewöhnlichen Dichtigkeit von ihrem Maximum weit entfernt sind. Je niedriger die Temperatur, je höher der Druck, desto näher stehen die Gase diesem bis jetzt noch nicht erreichtem Maximum, und desto stärker ist die Menge des adsorbirten. Bei vollkommen mit dem Gase gesättigtem Raume würden die Poren, wenn sie sich mit dem liquid gewordenen Gase benetzen, vermuthlich eben so vollständig ausgefüllt werden, wie von dem Wasserdampfe, der (nach §. 177.) in den gewöhnlichen fein porösen Stoffen etwa 0,80 des leeren Raumes einnimmt.

§. 198. Die Hauptarbeit über die Adsorption von Gasen durch poröse Stoffe ist von

Theod. v. Saussure. Gilb. Annal. 1824. XLVII. p. 113. Bei einer Wiederholung der Versuche, welche durch den Standpunct, den die Lehre von den Gasen seitdem gewonnen hat, nothwendig wird, müßte man die Elasticität des über der gesättigten Kohle verbreiteten Gases mehr berücksichtigen, als es Saussure gethan hat. Einige Beiträge verdanken wir

Döbereiner Schweigg. Journ. 1814. X. p. 272.

Christison und Turner Edinb. Journ. of Science. VIII. p. 140. Poggend. Annal. 1828. XIV. p. 259. Ueber die schädlichen Einflüsse einiger Gase auf Pflanzen. Selbst hier, wo die chemische und organische Einwirkung vorherrschend sein sollte, steht die Schädlichkeit in einer nahen Beziehung zur Flüchtigkeit des Gases.

Th. Graham Lond. Edinb. Journ. of Science. 1833. II. p. 180. Pogg. Annal. XXVIII. p. 338.

Die übrigen Arbeiten haben beinahe nur ein historisches Interesse.

Der von Gmelin verfaßte Artikel Adsorption im neuen gehlerschen Wörterbuche läßt in Beziehung auf Vollständigkeit und Klarheit nichts zu wünschen übrig. Ich kann daher für die Thatsachen und Ansichten, die ich hier nur andeuten konnte, darauf verweisen.

Chemischer Proceß als Folge der Adsorption oder Adhäsion von Gasen.

§. 199. Die große Dichtigkeit eines adhärirenden Gases be-

günstigt die chemischen Processe zwischen ihm und dem festen Körper sowohl als zwischen ihm und andern Gasen. Es sind ihrer zwei Klassen: erstlich, wo der feste Körper bloß anregend wirkt, ohne selbst eine Veränderung zu erleiden; zweitens, wo er selbst in den chemischen Proceß eingeht. Von beiden, besonders aber von der zweiten Klasse, sind seit langer Zeit einzelne Beispiele bekannt. Aber erst seit H. Davy sind sie genauer verfolgt worden.

Im Jahr 1817 sah H. Davy, daß feiner Platinadraht, in einer Weingeist- oder Aetherflamme zum Glühen gebracht, nach Auslöschen der Flamme zu glühen fortfuhr, so lange er noch vom Alkohol- oder Aetherdampf umgeben war. Man benutzte diese Beobachtung zur Construction der Glühlämpchen, die sich jedoch nicht praktisch bewährten. Erman fand, daß die Temperatur, bei der ein kalter Platindraht zum Glühen kam, durch die Anwesenheit von Weingeist- und Aetherdampf sehr vermindert wurde. Je feiner der Draht, desto leichter gelang der Versuch, und ganz dünner Draht kam in einer solchen Atmosphäre schon bei 65° zum Glühen. Dobereiner sah das feingetheilte, durch Glühen von salzsaurem Platinammoniak oder Platinkali reducirte Platin schon in gewöhnlicher Temperatur, selbst unter 0° glühen, wenn man es in einen Strom von Wasserstoffgas brachte. Endlich entdeckte Faraday, daß jedes Platinastück, selbst ein dickes Blech, die Verbindung von Knallgas schon in gewöhnlicher Temperatur bewirken kann, wenn die Oberfläche ganz rein ist.

Diese Reinheit findet sich bei frisch reducirtem Platin vor, sie geht nach einiger Zeit an der Luft und noch leichter, wenn das Platin mit einigen andren Gasen in Berührung kam, verloren und wurde am besten wieder hergestellt, wenn man es an das positive Ende einer geschlossenen voltaischen Säule oder in Schwefelsäure und einige andre Stoffe brachte. Die Anwesenheit einer fremden, dem Platina sein erregendes Vermögen raubenden Substanz konnte oft weder durch das Auge noch durch die Wage erkannt werden. Ob die feinen Mittel, welche die Optik darbietet, uns über die Beschaffenheit des fremden Stoffes Aufschluß geben konnen, ist noch nicht untersucht.

§. 200. Aus diesen und einigen andren Versuchen geht folgendes hervor:

Reines Platina begünstiget die Verbrennung von Wasserstoff

Dieses Vermögen dringt nicht auf eine merkliche Tiefe in das Innere des Platins hinein.

Je größer die reine Oberfläche, desto stärker ist die Wirkung.

Es entwickelt sich bei der Verbindung, selbst wenn sie in niedriger Temperatur und langsam von Statten geht, eine Wärme, welche zum Theil durch Stralen oder Leiten entfernt wird, zum Theil die Temperatur des Platinas erhöht.

Je größer die gesammte Oberfläche des Platins im Verhältniß zu seinem äußeren Volumen ist, desto stärker ist die Erwärmung. In dicken Platten und Stäben ist sie am kleinsten, nimmt zu, je dünner beide werden, und hat ihr Maximum in dem feinzertheilten Platinamoor erreicht. Wird dieses zu sehr geglüht und seine Poren dadurch zusammengezogen, so nimmt die Wirkung ab.

Mit der Temperatur steigt auch die Fähigkeit des Wasserstoffes, sich mit Sauerstoff zu verbinden.

Die Gestalt der Oberfläche und das Dasein von Spitzen ist, abgesehen von dem Einfluß, den sie auf die Größe der Oberfläche haben, ohne Bedeutung für den Erfolg.

§. 201. Wie Platina wirken alle festen Körper, und wie Knallgas die meisten, vielleicht alle Gasgemenge, die sich in höhern Temperaturen oder durch einen elektrischen Funken mit einander verbinden.

Dem Platina am nächsten stehen die Platina-Metalle, Iridium, Palladium, Rhodium. Das Silber, Gold, und wahrscheinlich auch Kupfer verlangen eine etwas höhere Temperatur; dann folgen Nickel, Eisen, Kobalt. Sehr kräftig wirkt auch die Kohle. Nicht für sich reducirbare und nicht leicht schmelzbare Oxyde, Glas und Quarzpulver, selbst Stücke von Ziegelstein beschleunigen die Verbindung des Knallgases bei einer mehr oder weniger erhöhten Temperatur. Man darf jedoch, wenn man die Körper nach ihrer Wirksamkeit ordnen will, nicht vergessen, daß die Umstände, in denen sie sich bei den Versuchen befanden, sehr verschieden waren. Die Reinheit, welche bei dem Platin eine so nothwendige Bedingung ist, ist bei den übrigen Substanzen gewiß nicht in einem höhern Grade vorhanden, als bei dem gewöhnlichen Platin, aber bis jetzt noch nicht berücksichtigt; und die Zertheilung, besonders die auf mechanischem Wege hervorgebrachte, steht derjenigen des Platinaschwammes weit nach.

Es ist also noch nicht entschieden, ob die Platina-Metalle jene Fähigkeit in einem höheren Grade besitzen, als alle andren untersuchten Körper.

§. 202. Wie Wasserstoffgas, aber minder kräftig, werden mit dem Sauerstoffe verbunden: der Kohlenstoff in den Dämpfen von Aether, von Weingeist, von Oelen, in den Kohlenwasserstoff haltenden Gasen, die schweflige Säure und der Schwefelwasserstoff. An die Stelle des Sauerstoffes können auch sauerstoffreiche leicht zersetzbare Verbindungen treten, wie salpetrige Säure, und Chlor, Jod u. a. m.

§. 203. Von der zweiten Klasse, wo der feste Körper selbst in die neu entstandenen Verbindungen eingeht, giebt es eine Menge von Beispielen, zu denen selbst viele von denjenigen gehören, die man für Producte der gewöhnlichen Affinität hält. Man hat sie aber noch nicht wissenschaftlich zusammengefaßt. Die Kohle z. B., welche viel Sauerstoff adsorbirt hat, verbindet sich mit ihr allmälig zu Kohlensäure. Salpetergas zersetzt sich in der Kohle. Die Selbstentzündung von Kohle, Papier, Zeuchen und ähnlichen Stoffen, die Verbrennung fein zertheilter Metalle in gewöhnlicher Temperatur (Magnus Pogg. Annal. 1825. III. p. 81.), das Fortglimmen der Kohle und andrer Substanzen in der Luft oder in Sauerstoffgas; alle diese Erscheinungen sind Folgen der Affinität in Verbindung mit den bei dem Döbereinerschen Versuche statt findenden Kräften. Hierher gehört auch das Brennen des Zunders in dem pneumatischen Feuerzeuge, wie von mir selbst in Baumgartners und Ettingshausens Zeitschrift II. p. 313. und später von Thenard Ann. Ch. Ph. XLIV. p. 181. erwiesen ist.

§. 204. Als Ursache dieser chemischen Processe wurde anfangs wie gewöhnlich, die Elektricität angesehen, und die Wirkung von zerknitterter Platinafolie und von Platinaschwamm mit der Spitzenwirkung in der Elektricität zusammengestellt. Mir scheint es die Adsorption zu sein, welche den chemischen Proceß so viel kräftiger macht.

Es ist nämlich eine wenig Ausnahmen erleidende Regel, daß die Gase um so leichter eine Verbindung eingehen, je comprimirter sie sind. In dem Momente des Entstehens oder in sehr gasreichen Auflösungen ist ihre Wirkung am stärksten. Die adsorbirten Gase oder Dämpfe bilden auf der Fläche des festen Körpers eine Schicht,

die, wie ich zu zeigen versucht habe, wirklich flüssig ist. Kommt nun etwa das Eisen in einer großen Fläche mit dem flüssigen Sauerstoffe in Berührung, so verbinden sie sich anfangs schwach, zuletzt, wo das Eisen durch die bei der Verbindung entstehende Wärme erhitzt ist, mit Entwickelung von Feuer und Licht. Quarz, Glas, Platina sind freilich ganz passiv gegen die auf ihrer Oberfläche sich präcipitirenden Gase, aber auch sie befördern die Verbindung durch die große Dichtigkeit, mit der sich die Gase auf ihrer Oberfläche treffen. Alle Umstände, die Wärme ausgenommen, welche die Adsorption begünstigen, beschleunigen auch den chemischen Proceß, z. B. eine Vergrößerung der Oberfläche in dem festen und der Dichtigkeit in dem luftförmigen Körper. Wie eine Platte von Glas und Metall den Wasserdampf vor seiner Sättigung präcipitirt (§. 143.) und nach denselben Gesetzen, nur mit einer geringeren Intensität, wie Glaspulver oder Metallmoor wirkt, eben so ist eine Platinaplatte in ihrer Wirkung im Wesentlichen dem Platinaschwamme gleich.

§. 205. Die Richtigkeit dieser Ansicht müßte durch directe Versuche über die Adsorption geprüft werden können. Auch kennt man das starke Adsorptionsvermögen der Kohle und weiß, daß Platinaschwamm die Dämpfe von Wasser mit Begierde aufnimmt; aber über die Adsorbirbarkeit von Sauerstoff und Wasserstoff durch Platina sind die Angaben sehr verschieden.

Nach Heß kann der Platinaschwamm 292 Volumina Wasserstoff adsorbiren; Kohlensäure, Ammoniak, Salzsäure, ölbildendes Gas und Sauerstoff dagegen adsorbire er gar nicht. Vermuthlich ist hierbei als Einheit des Volumens der Raum angenommen, den das auf seine gewöhnliche Dichtigkeit reducirte Platina ausfüllen würde.

Nach Döbereiner dagegen beträgt die Adsorption des feinsten Platinaschwammes, wenn man sein Volumen bei einem specifischen Gewichte von 21 als Einheit setzt, 1000—1300 Volumina Sauerstoff. Stickstoff wird dagegen nicht in merklicher Quantität, und Wasserstoff nur vermittels des Sauerstoffes aufgenommen.

Wenn auch die den Wasserstoff betreffende Behauptung Döbereiners nur eine Vermuthung und kein Resultat der Beobachtung ist, so liegt doch der Irrthum bei Heß, obgleich ich, da das Original seiner Abhandlung mir nicht zur Hand ist, nicht angeben kann, woraus er entspringt. Bei vielen Stoffen, die ganz wie Pla-

nna wirken, iſt es gewiß, daß ſie Ammoniak, Salzſäure u. ſ. f. ſtark adſorbiren und bei Waſſerſtoff, daß es in ſehr geringer Menge aufgenommen wird. Bei dem Platinaſchwamme ſelbſt vermehrt ein Strom von Sauerſtoffgas oder atmoſphäriſcher Luft die Wirkung und ſtellt ſie, wenn ſie zerſtört war, wieder her. Wäre, wie Heß angiebt, die Adſorption des Waſſerſtoffes am größten, und daher auch eine Haupturſache des Erfolges, ſo müßte dieſer durch einen Sauerſtoffſtrom vermindert werden.

Die leichte Zerſtörung jener Fähigkeit im Platin, theils an freier Luft, theils durch Beimiſchung fremder Gaſe, von der Faraday mehrere Beiſpiele mittheilt, rührt wahrſcheinlich von derſelben Urſache her, wie die Verbindung des Knallgaſes; denn wenn ein andres Gas ſich an die Oberfläche des Platins legt, ſo wird dadurch ein für den chemiſchen Proceß wirkſames Gas zurückgehalten oder verdrängt, und dieſer dadurch entweder verzögert oder ganz verhindert.

Der einzige Umſtand, zu deſſen Erklärung die uns bekannten Geſetze der Adſorption nicht ganz ausreichen, iſt der Einfluß der Wärme. Er erleichtert die Wirkung, obgleich die Quantität des adſorbirenden Stoffes in höherer Temperatur viel kleiner iſt. Indeſſen wird nach unſrer Theorie zwar die Dicke der Schicht, aber nicht ihre Dichtigkeit durch die Wärme vermindert, und wenn auch die Quantität der ſich anfangs verbindenden Gaſe beträchtlich abnimmt, ſo ſteigt die chemiſche Anziehungskraft mit der Temperatur in einem ſtarken Verhältniſſe. Iſt der Proceß aber einmal in erhöhter Temperatur eingeleitet, ſo bedürfen die Stoffe einer geringeren Wärmezunahme, um ſich mit Exploſion zu verbinden.

§. 206. Die Literatur iſt ſehr reich, denn der Verſuch, ſowohl wie ihn Davy an der Glühlampe, als Döbereiner an ſeinem Feuerzeuge beſchrieb, iſt ſo parador und ſo leicht anzuſtellen, daß er von ſehr vielen wiederholt und oft beſchrieben iſt. Die Hauptarbeiten ſind:

H. Davy Phil. Transact. 1816; Gilb. Annal. 1817. LVI. und LVIII. p. 370.

Erman Berl. Akadem. 1818—1819. p. 351.

Pleiſchl Gilb. Annal. 1823. LXXVI. p. 98. Schweigg. Journ. 1823. XXXIX. p. 147. 351.

Kamarſch Gilb. Annal. 1823. LXXV. p. 83.

Döbereiner Gilb. Annal. 1823. LXXIV. p. 274. LXXV. p. 96. Schweigg. Journ. 1822. XXXIV. p. 91; 1823. XXXIX. p. 159; 1824. XLII. p. 60; 1831. LXIII. p. 464; 1831. I. p. 76 und 114. Pogg. Annal. 1831. XXIV. p. 609.; Beiträge zur pneumatischen Chemie 1821 und 1825. IV. und V.

Dulong und Thenard Mém. de l'Acad. V. p. 476 und 481; Annal. Ch. Ph. 1823. XXIII. p. 440.

Ridolfi Féruss. Bullet. math. 1824. III. p. 174.

Miller Annal. of Phil. 1826. XII. p. 17.

Bellani Brugnatelli Giorn. 1824. p. 134.

Turner Edinb. Philos. Journ. 1824. Jul. p. 99. Pogg. Annal. II. p. 210.

Fusinieri Brugnat. Giorn. 1824.

De la Rive und Marcet Mém. de Genève 1828. II. p. 24; Annal. Ch. Ph. XXXIX. p. 328.

Heß Mém. de Petersb. 1831. p. 397.

Magnus Pogg. Annal. 1832. XXIV. p. 610.

Böttiger Schweigg. Journ. 1831. LXIII. p. 370.

Faraday Phil. Tr. 1834. Pogg. Annal. XXXIII. 140 — 189.

Diese und Dulongs Abhandlung enthalten fast alles wissenschaftlich interessante.

Auch der Geruch, der sich beim Reiben oder Stoßen vieler Stoffe zeigt, rührt wahrscheinlich von einem auf ähnliche Weise, wie durch das Platin, vermittelten chemischen Processe her. Beispiele davon hat Dessaignes Sur la phosphorescence par percussion. Journ. de Phys. 1812. LXXIV. p. 110. Der bei dem Gebrauch der Maschinen-Elektricität entstehende Geruch gehört vermuthlich ebenfalls hierher.

II. Einfluß physischer Verbindungen auf die Aggregatzustände.

§. 207. Die physischen Verbindungen, wo die Bestandtheile ihre Selbstständigkeit verlieren, einander durchdringen und einen neuen Körper bilden, ausführlicher zu behandeln, liegt nicht in dem Plane dieses Werkes. Aber die Auflösung hat so viele Berührungspuncte mit der Adsorption, daß ich sie nicht ganz übergehen kann.

Unter einer Auflösung verstehe ich eine physische Verbindung, die flüssig ist. (Siehe Einleitung §. 15.) Es giebt drei Arten der Auflösung zweier Körper.

1) Die Körper sind beide flüssig.

2) Einer von ihnen ist fest, der andre flüssig, oder beide sind fest.

3) Einer von ihnen ist gasförmig.

Das Schwankende in dieser Eintheilung liegt in dem Charakter der Auflösung. Wir werden sehen, daß die drei Klassen nicht wesentlich von einander verschieden sind.

A. Auflösung zweier Flüssigkeiten gegen einander.

§. 208. In der ersten Klasse sind die beiden Bestandtheile entweder in jedem Verhältnisse mischbar, oder sie sind es nur in gewissen Verhältnissen. Der Proceß der Auflösung kann am besten bei den in jedem Verhältnisse mischbaren studirt werden.

Werden zwei Flüssigkeiten, z. B. Wasser und Alkohol, oder Schwefelsäurehydrat und Wasser zusammengegossen, so bildet sich eine mechanische Verbindung. Aber wo die zwei heterogenen Flüssigkeiten sich berühren, üben sie eine Anziehung auf einander aus und vereinigen sich. Je kleiner die mechanischen Gemengtheile, je größer die sich berührenden Oberflächen, je kleiner die Differenz der specifischen Gewichte, welche die beiden Flüssigkeiten in getrennte Schichten zu lagern strebt, und je größer ihre Anziehung ist, desto schneller nähert sich die Verbindung der Homogenität, die jedoch, trotz allem Schütteln, nach vielen Minuten noch nicht eingetreten ist, was man an den die Flüssigkeit durchziehenden und an ihrer verschiedenen Lichtbrechung kenntlichen Adern sehen kann. Die Verbindung ist nicht eher in Ruhe, als bis beide Bestandtheile ganz gleichförmig vertheilt sind, und dann können sie nicht mehr durch die Schwere, sondern bloß durch die Cohäsion (Siehe Diffussion der Flüssigen) und die Verdampfung oder Erstarrung von einander getrennt werden.

§. 209. Ueber die Kraft, mit der eine Auflösung verdampft, giebt es nur wenige und selten genaue Versuche. Die Elasticität des Dampfes unmittelbar zu bestimmen, ist nur selten versucht. Oefter sind die Siedpuncte beobachtet. Obgleich man aus ihnen die Elasticität der Dämpfe mit einiger Sicherheit auch für geringere

Temperaturen ableiten kann, so ist diese Methode für genaue Untersuchungen dennoch nicht zu empfehlen, weil der Siedpunct sich bei beträchtlichen Veränderungen in der Concentration nur wenig verändert und von mancherlei Nebenumständen abhängig ist, die nicht leicht zu beseitigen sind. Auch wird die Auflösung durch das Sieden selbst schnell verändert.

Die bisher bekannten Beobachtungen führen dem Anscheine nach auf folgendes Gesetz:

e_1 und e_2 seien die größten Elasticitäten der Dämpfe der beiden Bestandtheile bei einer gewissen Temperatur.

m_1 und m_2 ihre Volumina vor der Mischung.

e und m die größte Elasticität des Dampfes und das Volumen bei der Mischung selbst. So ist

$$e = \frac{m_1 e_1 + m_2 e_2}{m}$$

$\frac{m_1}{m}$ und $\frac{m_2}{m}$ sind die Verdünnungen, welche jeder Bestandtheil durch die Vermischung mit dem andern Stoffe erfährt. Vermuthlich wird diese Formel noch durch die das Auflösen gewöhnlich begleitende Veränderung des specifischen Gewichtes modificirt. Aehnliche Gleichungen können auch für Verbindungen von 3 und mehr Bestandtheilen aufgestellt werden.

Wenn m_1 dem minder flüchtigen Bestandtheile angehört, so hat e seinen kleinsten Werth, wenn $m_2 = 0$ und seinen größten, wenn $m_1 = 0$. Für alle Zwischenwerthe schreitet die Elasticität des Dampfes allmälig von dem kleinsten bis zum größten fort. Wenn sich daher in der Elasticität oder dem Siedpuncte irgendwo ein Maximum oder ein Minimum findet, so ist es nicht eine physische, sondern eine chemische Verbindung, bei wässerigen Salzlösungen ein Hydrat, und die übrigen Auflösungen sind innerhalb einer gewissen Grenze nicht als Verbindungen des Salzes mit Wasser, sondern als Verbindungen des Hydrates mit Wasser oder mit dem Salze anzusehen.

Wenn der Dampf des einen Bestandtheils keine wahrnehmbare Elasticität hat, wie es z. B. bei Schwefelsäure der Fall ist, so bleibt in der Gleichung nur

$$e = \frac{m_1 e_1}{m}$$

übrig, und die Elasticität des Dampfes hängt bloß von der relativen Quantität des Wassers ab. Befindet sich in dem Raume über der Auflösung ein Wasserdampf von einer höheren Elasticität, als $m_1 e_1 : m$, so wird er insorbirt; ist er von einer geringeren Elasticität, so entwickelt sich Dampf, bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Dasselbe ist auch der Fall, wenn der Raum ganz dampffrei ist oder sich nur einer der beiden Bestandtheile in flüssigem Zustande vorfindet, der andre aber den Raum als Dampf anfüllt, z. B. Schwefelsäurehydrat in einer ganz feuchten Luft, oder Wasser und Alkohol, die in einem Recipienten neben einander in getrennten Gefäßen stehen.

§. 210. Verbinden sich die beiden Flüssigkeiten nicht in jedem Verhältnisse, so entstehen, wenn man sie zusammenbringt, gewöhnlich zwei scharf von einander getrennte Verbindungen von verschiedener Zusammensetzung; oben die specifisch leichtere, welche etwas von der schwereren enthält, unten die schwerere, welche etwas von der leichteren aufgelöst enthält. Dieses ist z. B. der Fall bei Wasser und Aether, Wasser und Kreosot und vermuthlich auch Wasser mit allen ätherischen Oelen, die etwas Wasser auflösen und sich wiederum in geringer Quantität mit Wasser mischen lassen. Ferner bei Metallen, z. B. Blei und Zink, die zusammengeschmolzen, oben aus einer Zinkschicht mit einigen Procenten Blei, unten aus einer Bleischicht mit einigen Procenten Zink bestehen. Vermuthlich ist dieses bei allen Metallegirungen der Fall, auch bei Verbindungen von Eisen mit Kohle und es ist die Hauptursache von der Ungleichförmigkeit in den gegossenen Bronzen, Gußeisen und andren Legirungen.

Kann 1 Theil des einen Bestandtheils höchstens p Theile des andren auflösen, und 1 Theil des letzten q von dem ersten, so können sich beide in jedem Verhältnisse verbinden, wenn $pq = 1$ oder größer ist wie 1. Dieses ist in höheren Temperaturen, wo die Auflösbarbarkeit zuzunehmen pflegt, häufiger der Fall als in gewöhnlicher. Eupion z. B. und Kreosot theilen sich bei 0^0 in zwei Schichten. Bei 22^0 vermischen sie sich in jedem Verhältnisse. Vermuthlich giebt es bei jeder physischen Auflösung eine Temperatur, bei welcher die partielle Mischung in eine totale übergeht. Man hat sie aber bis jetzt noch nirgends beobachtet, wie es überhaupt über diese Art von Auflösungen nur wenige und zerstreute Beobachtungen giebt, obgleich sie ganz gewöhnlich sind, und es sehr wichtig

wäre zu wissen, ob p und q, wie es wahrscheinlich ist, von einander abhängig sind, und auf welche Weise.

Auch für die Technik ist diese Untersuchung von Wichtigkeit. Es ist eine bekannte Erfahrung, daß man, um gleichförmige Bronze oder Gußeisen zu erlangen, sie in hoher, ihren gemeinschaftlichen Schmelzpunct weit überschreitender Temperatur bereiten müsse. Die Ursache ist, daß sich die beiden flüssigen Metalle erst in einer gewissen Temperatur vollständig zu einer homogenen Verbindung auflösen. Läßt man sie nun so schnell erstarren, daß sie sich nicht beträchtlich trennen konnten, so bleibt die starre Masse, zwar nicht ganz homogen, aber doch weit gleichförmiger vertheilt, als wenn die Temperatur jene Höhe nicht erreicht und man die Gleichförmigkeit bloß durch Umrühren hervorzubringen versucht hätte. Man sollte über die Auflösungen der gebräuchlichen Metalle in einander für verschiedene Temperaturen so genaue Versuche anstellen, als es die Pyrometer erlauben, nnd würde dadurch manchen unnützen und kostspieligen Versuch in den Maschinen- und Kanonengießereien ersparen.

B. Physische Verbindung eines festen und eines flüssigen, oder zwei fester Körper.

§. 211. Bei der zweiten Art von Auflösung findet die Verbindung niemals in jedem Verhältnisse statt; sondern der flüssige Körper nimmt von dem festen eine Quantität auf, die in hohem Grade von der Temperatur abhängig ist. Mit wenigen Ausnahmen steigt sie mit der Temperatur, und von diesen Ausnahmen ist ein großer Theil nur scheinbar. Der feste Körper war nämlich in niedriger Temperatur suspendirt und setzte sich in der Wärme, wo die Suspension schwächer ist, ab (Siehe unten Bewegung der Flüssigen, Absatz); oder es entsteht, wie beim schwefelsauern Natron, in höherer Temperatur ein neues Hydrat. Beim Kochsalze ist, was sonst nicht wieder vorkommt, die Auflösbarkeit beinahe unabhängig von der Temperatur. Man ist dadurch zu der Meinung geführt worden, daß die gesättigte Auflösung vom Frier- bis zum Siedepuncte hinauf ein Hydrat sei. Dieses ist möglich. Aber es bleibt dann wiederum noch zu erklären übrig, warum dieses Hydrat, das schon bei $15^0 - 20^0$ unter 0^0 flüssig ist, in höherer Temperatur gar kein Salz auflöst, was doch andere in ihrem Krystallisationswasser geschmolzene, d. h. flüssige Hydrate vermögen. Uebrigens fin-

den die meisten Beobachter und unter diesen Gayluſſac das Salz in höheren Temperaturen etwas auflöslicher.

§. 212. Zwischen dieser Art von Auflösung und der vorhergehenden, liegt keine scharfe Grenzlinie. Der Weingeist z. B. ist bei + 1° eine Verbindung zweier Flüssigen; bei — 1° eine Auflösung von Eis in Alkohol. Wässrige Lösungen von Säuren oder Salzen sind bei Temperaturen, die über dem Puncte liegen, wo die Hydrate in ihrem eigenen Krystallisationswasser schmelzen, eine Verbindung zwischen zwei Flüssigen; bei niedrigern Temperaturen die Auflösung eines Festen in Wasser.

Die Mehrzahl der Auflösungen bleibt sogar auch bei Temperaturen flüssig, welche unter dem Frierpuncte beider Bestandtheile liegen. Sehr wenige Auflösungen von Salzen oder Säuren in Wasser schmelzen über 0°, fast alle unter 0° und zuweilen bei —40° oder 50° und sind zum Theil noch gar nicht ohne Abdampfung des Wassers zum Erstarren gebracht worden. Dasselbe findet sich auch bei vielen Metalllegirungen, z. B. den aus Wismuth, Zinn und Blei bestehenden, in den Verbindungen von Eisen nnd Kohle und mehreren andren. Indessen machen die vorhandenen Beobachtungen es wahrscheinlich, daß dieser höhere Grad von Schmelzbarkeit in der Auflösung nur scheinbar ist und eigentlich chemischen Verbindungen angehört. In den Salzlösungen, welche bei dem Minimum der Temperatur erstarren, findet sich in der Regel ein auf feste Proportionen hinweisendes Verhältniß. Dasselbe ist der Fall bei den binären oder ternärtn Verbindungen der Metalle, welche die niedrigsten Schmelzpuncte haben und vermuthlich auch bei Kohle und Eisen, wo die leichtflüssigste Verbindung eine chemisch feste Proportion hat und am leichtesten als Ganzes krystallisirt. Der Satz, daß physische Auflösungen geneigt sind, einen kleinern Schmelzpunct anzunehmen, als aus ihren Bestandtheilen folgen würde, fällt weg; wie bei der Dampf-Elasticität gehören die Maxima und Minima chemisch reinen Verbindungen an, und es bliebe nur merkwürdig, daß die chemischen Verbindungen im Durchschnitte leichtflüssiger sind, als ihre Bestandtheile, und daß wie durch die Prosaphie, Adsorption und Auflösung, so auch durch die chemischen Processe der Bereich des flüssigen Aggregatzustandes erweitert wird, sowohl über die Grenzen des festen als des gasförmigen hinaus (Siehe §. 142.).

§. 213. Die Gesetze der Elasticität des Dampfes über den

Auflösungen eines festen Körpers sind denen, die bei einem Gemische zweier Flüssigkeiten statt finden, vollkommen gleich und erleiden keine Veränderungen durch den Frierpunct des einen Bestandtheiles. Eine Salzlösung z. B. wird so lange Wasserdampf aus der Atmosphäre aufsaugen, als die Elasticität desselben größer ist als diejenige, welche der aus der Auflösung aufsteigende Dampf besitzt. Wenn sich daher in einem Recipienten eine Schale mit Wasser und eine andre mit einer Salzlösung befindet, so wird die Atmosphäre sich durch das Wasser immer mit Dampf zu sättigen streben; die Auflösung aber nur einen Dampf von gewisser Elasticität über sich gestatten und den Ueberschuß aufsaugen. Es muß sich also ein Destillationsproceß einleiten, der erst mit dem gänzlichen Uebergange des Wassers in die Lösung sein Ende erreicht. War das Salz noch fest, so nimmt es die ersten Wassertheile durch Adsorption auf. Diese verbinden sich mit dem Salze zu einer Lösung, die von Neuem Wasserdampf anzieht. Jedes leicht auflösliche Salz zerfließt daher in vollkommen feuchter Luft, und selbst bei den schwerlöslichen Salzen, wo dieser Proceß nur äußerst langsam fortschreitet und durch die Dichtigkeit ihres Gefüges bald in Stocken geräth, wie beim Kalkspathe, ist die Verminderung des Glanzes und der Glätte an der Oberfläche eine Folge von der Adsorption des Dampfes. In einer Luft von mittlerer Feuchtigkeit nehmen die Salze und ihre Auflösungen bald Wasser auf, bald verlieren sie es, und sie würden als Hygrometer dienen können, wenn nicht die Trägheit dieses Processes ihn zu praktischen Zwecken unbrauchbar machte.

C. Physische Verbindung eines flüssigen oder eines festen und eines gasförmigen Körpers, Insorption.

§. 214. Die dritte Klasse von Auflösungen unterscheidet sich von der vorhergehenden nur durch ihre Temperatur, welche höher ist als der Siedepunct des flüchtigeren der beiden Bestandtheile. Schwefelsäure, über 100° erhitzt, saugt die Wasserdämpfe nach denselben Gesetzen ein, wie das Wasser selbst, in gewöhnlicher Temperatur, die Gase von Ammoniak, Salzsäure u. s. f. Diese Gase werden so lange inserirt, bis die Elasticität des Gases, welches aus der Lösung aufzusteigen strebt, derjenigen in dem umgebenden Raume gleich ist, und wenn die Elasticität durch die Inser-

ption nach der §. 209. angeführten Regel vermindert wird, ſo kann das Gas als ein Flüſſiges bei einer Temperatur verharren, die weit höher liegt als die, wo es ſich im freien Zuſtande präcipitiren würde. So lange daher die Quantität, welche das Waſſer auflöſen kann, nicht erreicht worden iſt, wird die inſorbirte Menge vornehmlich von dem Verhältniſſe der Elaſticität des in dem Raume vorhandenen Gaſes zu ſeinem Maximum abhängen, alſo bei einer jeden Temperatur, ſeiner Elaſticität nahe proportional ſein und bei höheren Temperaturen in demſelben Verhältniſſe kleiner werden, als die Größe der in dem Raume möglichen Gasmenge zunimmt. Von verſchiedenen Gaſen werden ferner diejenigen gewöhnlich in einer größeren Quantität aufgenommen, welche durch Compreſſion oder Erkältung ihre Gasform leichter verlieren.

Inſorption von Gas durch flüſſige Metalle.

§. 214. Ob gasförmige Flüſſigkeiten auch vom Queckſilber inſorbirt werden, iſt ungewiß. Das Queckſilber im Barometer läßt nach einiger Zeit Luft und Waſſer durch, und man war geneigt, dieſes durch eine Inſorption zu erklären. Andre meinen, daß Luft und Waſſerdampf ſich nur zwiſchen dem Queckſilber und dem Glaſe hindurchdrängen.

Für die erſte Anſicht ſcheint die Inſorption der Gaſe in Waſſer und andren Flüſſigkeiten zu ſprechen. Aber ſo ähnlich dieſe auch dem Queckſilber in allen den Thätigkeiten ſind, welche auf der Oberfläche ſtatt finden, ſo ſind ſie doch zu verſchieden von einander, als daß man die Analogie auch auf die im Innern wirkenden Kräfte ausdehnen dürfte. Das einzige entſchiedene Beiſpiel einer Inſorption bei einer metalliſchen Flüſſigkeit ſchien ſich bei dem geſchmolzenen Silber zu finden, das mehrere Volumina Sauerſtoff aufnimmt, die es im Moment des Erſtarrens wieder fahren läßt und dadurch das Spratzen verurſacht. Aber dieſes iſt nach Gayluſſac (Ann. Ch. Ph. 1830. XLV. p. 221.) keine Inſorption, ſondern eine chemiſche Verbindung. Eine ſo ſtarke Inſorption eines ſchwer inſorbirten Gaſes, wie Sauerſtoff iſt, bei einer ſo hohen Temperatur, wie die des ſchmelzenden Silbers, würde überdieſes allen ſonſt bei der Inſorption vorkommenden Bedingungen widerſprechen. Dagegen finden ſich viele Beweiſe von dem Durchdrängen eines gasförmigen Stoffes zwiſchen Glas und Queckſilber (Siehe Diffuſion der

Gase §. 26.). Wo die Queckſilberſchicht nicht zu ſtark iſt, geht der Proceß ſchnell von Statten. Bei dem Barometer iſt er ſehr langſam, aber das Queckſilber hat hier auch eine Höhe von einigen Decimetern. Auch abgeſehen von den Verſuchen, die Daniell und andre angeſtellt haben, muß man es daher für weit wahrſcheinlicher halten, daß der Waſſerdampf und die Luft ſich zwiſchen dem Glas und dem Metalle einen Weg bahnen, als daß ſie durch die Maſſe des Metalles gehen.

§. 214. Ich habe die Auflöſungen ganz kurz betrachtet und nur in Beziehung auf die Abſorption und Adhäſion, deren Geſetze ſehr nahe verwandt zu ſein ſcheinen. In beiden Fällen werden die Aggregatzuſtände nur zu Gunſten des flüſſigen verändert; die Gaſe werden durch die Körper, mit denen ſie in Berührung treten, bis auf einen gewiſſen Grad verhindert, ihre Gasform anzunehmen, und in beiden Fällen ſind es offenbar dieſelben Gaſe, diejenigen, welche auch für ſich leichter flüſſig zu machen ſind, die ſich der Verwandlung am willigſten darbieten. Es war daher zu entſchuldigen, wenn man beide Erſcheinungen als Abſorption zuſammenfaßte. Aber die Aehnlichkeit iſt nur ſcheinbar. Sie geht mehr aus der Beſchaffenheit des abſorbirten als aus der des abſorbirenden Körpers hervor und die Geſetze der Auflöſung und der Abſorption ſind weſentlich verſchieden von denen der Adhäſion und Adſorption. Hier iſt die Verbindung mechaniſch; dort iſt ſie phyſiſch. Hier iſt die Hoffnung vorhanden, faſt alles auf ſehr einfache Principien, auf die Textur und auf die Synaphie zurückzuführen; dort haben wir noch kein leitendes Princip und die Körper ſcheinen wie in den chemiſchen Proceſſen einer für uns willkürlichen Wahlenziehung zu folgen. Man darf ſich deßhalb nicht verleiten laſſen, dieſe Verbindung der chemiſchen nah zu ſtellen. Denn von ihnen trennt ſie nicht nur die Art, wie die Stoffe zuſammentreten, ſondern auch die Beſchaffenheit der Stoffe ſelbſt. Wie ich ſchon in der Einleitung bemerkte, gehört die chemiſche Verbindung den in der Totalität ihrer phyſiſchen Eigenſchaften entgegengeſetzten Subſtanzen, die Auflöſung dagegen den ähnlichen Subſtanzen an.

§. 215. Die Literatur zu dieſem Abſchnitte beſteht aus Dalton's Werke A New System of chemical Philosophy, aus welchem die Tabellen über die Siedpuncte der Auflöſungen in alle Handbücher der Chemie übergegangen ſind, und aus einer großen Anzahl

kleiner Abhandlungen und gelegentlicher Bemerkungen, die ich dann anführen werde, wenn es mir gelungen sein wird, die vielen Lücken, die sie haben, durch eigene Versuche auszufüllen. Bei dieser Skizze der Lehre von der Auflösung wäre es ein literarischer Luxus. Daltons Theorie war eben so scharfsinnig, als unrichtig; dieses sah man bald, aber man setzte keine andere an ihre Stelle. Meine Ansicht habe ich zuerst in meiner Schrift: De Gasorum et Vaporum Theoria meditationes, die im Anfange des Jahrs 1823 erschienen, aber nicht in den Buchhandel gekommen ist, ausführlicher als hier auseinandergesetzt, ehe noch durch die Liquefaction der Gase der Weg zu einer genauern Kenntniß der Adsorptions- und Auflösungserscheinungen gebahnt war. Ich citire diese Abhandlung, die alle Fehler eines ersten Versuches hat, nur deßhalb, damit man mich in einigen Puncten, wo meine Ansicht mit denen, die andre vor Kurzem bekannt gemacht haben, übereinstimmt, nicht beschuldige, mir die Ideen von Fremden zugeeignet zu haben.

Dritter Abschnitt.

Cohärenz bei der Bewegung von Flüssigen.

§. 216. Die Bewegung der Flüssigen kann man auf verschiedene Arten betrachten. Bald nach ihrem Ursprunge, welcher entweder in der Cohäsion selbst liegt, wie bei dem Aufsteigen in Haarröhrchen, oder bei der Verbreitung der Tropfen; oder in der Schwere oder in mechanischen Kräften, wie bei dem Ausströmen aus Kanälen. Bald nach der Beschaffenheit der Bewegung selbst, welche entweder an festen Wänden statt findet, oder zwischen beweglichen, flüssigen oder festen Körpern, oder in Berührung mit einer andren zu einer physischen Verbindung geneigten Flüssigkeit. Bald nach dem Resultate der Bewegung. Ich werde den mittleren Gesichtspunct beibehalten und daher alle Bewegungen der Flüssigen in drei Klassen bringen:

1) an festen Wänden,

2) zwischen beweglichen Grenzen,

3) Bewegungen, welche mit Auflösung eines Flüssigen verbunden sind, Diffusion.

I. Bewegung eines Flüssigen an festen Wänden.

§. 217. Die technische Wichtigkeit der Bewegungen des Wassers hat seit Torricelli's Zeit eine Menge von Untersuchungen veranlaßt, durch welche ziemlich genau die Größe der Reibung von Cylindern oder Schiffen an Wasser, und die Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser durch Kanäle oder durch Wandöffnungen bewegt, bekannt geworden sind. Aber ihre Gesetze zu kennen, ist man noch weit entfernt. Die Formeln sind bloß empirisch und weichen von den Beobachtungen ab, sobald man Dimensionen anwendet, welche von denen, aus welchen die Formeln abgeleitet sind, etwas abweichen. Sie haben daher, bis alle genauen Beobachtungen von neuem berechnet und durch Versuche ergänzt sein werden, nur ein technisches Interesse, und ich beschränke mich hier auf einige Hauptsätze.

Wandöffnungen.

§. 218. Die Geschwindigkeit, welche Wasser, das aus einer Oeffnung in einer dünnen Wand fließt, nach einer bloß auf der Schwere beruhenden Rechnung annehmen würde, ist

$$v^2 = 2gh.$$

Wenn v die Geschwindigkeit eines Wassertheilchens,
h die Höhe des Wasserspiegels über der Oeffnung,
g = 9809 Millimeter, die Beschleunigung eines fallenden Körpers in einer Secunde ist.

Die aus der Oeffnung tretenden Wassertheile sind verschieden sowohl in der Druckhöhe h, als in der Richtung ihrer Bewegung. Von der ersten kann man absehen, wenn der Durchmesser der Oeffnung gegen die Höhe h verschwindet. Die Unterschiede in der Richtung haben aber einen beträchtlichen Einfluß auf die Totalgeschwindigkeit. Die Theilchen kommen mit convergirenden Richtungen an der Oeffnung an, dort stoßen sie auf einander und die Theile ihrer Bewegungen, welche der Fläche der Oeffnung parallel sind, heben einander auf. Wenn die ursprüngliche Richtung mit der auf der Oeffnung senkrechten Linie den Winkel ϱ macht; so bleibt von der anfänglichen Geschwindigkeit v nur v_1 übrig, indem

$$v_1^2 = 2gh \cos^2 \varrho.$$

Die mittlere Geschwindigkeit c des ganzen Strales besteht aus der Summe dieser elementaren Geschwindigkeiten. Diese

ist zwar noch nicht genügend berechnet, da man nicht alle zur Rechnung nöthigen Data besitzt, aber die Erfahrung lehrt, daß

$$c : v = 0{,}7 \text{ bis } 0{,}6;$$

also ist die wirkliche Geschwindigkeit etwa $^2/_3$ der theoretischen.

§. 219. Die Convergenz der elementaren Wasserstralen bringt in dem totalen Strale eine Verengerung hervor, die in einiger Entfernung von der Oeffnung in dem Querschnitte des Strals zu einem Minimum wird. Die Gestalt dieses Querschnittes und des Strales überhaupt, der Vena contracta, ist weit schwieriger zu beobachten als das Verhältniß $c : v$ und daher auch wenig bekannt. Sie hängt von der Synaphie der Flüssigkeit ab, welche den Querschnitt der Kreisform zu nähern sucht. In dem engsten Theile des Strales ist daher zwar die Gestalt der Oeffnung nicht ganz verwischt, aber die Ecken sind abgerundet, und wenn die Dimensionen derselben sehr ungleich sind, so haben sich die kleinern auf Kosten der größern erweitert. Auch die Geschwindigkeit der Ausströmung wird einen Einfluß auf die Gestalt des Strales haben, da es von ihr abhängt, ob die Synaphie ihre Wirkung mehr oder weniger vollständig entwickeln kann.

Auf dem Strale, wie auf jeder Wasserfläche, wo nicht alle Theile eine gleiche und parallele Bewegung haben, bildem sich Wellen, die Savart näher untersucht hat, (L'Institut N. 16.; Pogg. Annal. 1833. XXIX. p. 356.) und die von der Größe der Oeffnung, der Temperatur und der Synaphie der Flüssigkeit abhängen, jedoch auf eine von ihm noch nicht näher mitgetheilte Weise.

§. 220. Das Verhältniß $c : v$ selbst hat dagegen die Hydrotechniker sehr beschäftigt, und man hat seine Größe zu bestimmen gesucht. Sie ist aber unter den verschiedensten Umständen beinahe von gleicher Größe und hält sich immer in den oben angegebenen Grenzen.

Die Gestalt der Oeffnung ist, die Fälle ausgenommen, wo sie linienförmig ist, ohne merklichen Einfluß. Eine Zunahme ihres Querschnitts verändert den Ausfluß ein wenig, was auch bei einer Vermehrung der Geschwindigkeit oder des Druckes der Fall ist.

Welchen Einfluß die Temperatur und die chemische Beschaffenheit der Flüssigkeiten auf die Vena contracta haben, ist zwar noch nicht genau untersucht; aber auch er ist, nach einzelnen Beobach-

tungen zu schließen, unbedeutend. Die Synaphie ist also ohne beträchtlichen Einfluß.

§. 221. Ein Theil der kleinen Variationen, welche man wahrgenommen hat, rührt wahrscheinlich von der Dicke der Wände her. Ist diese sehr beträchtlich, so strömt die Flüssigkeit nicht aus einer Wandöffnung, sondern aus einem Kanale. Eine Dicke von bestimmter Größe entfernt die Eigenschaften einer Oeffnung um so mehr von denjenigen einer dünnen Wand, je enger sie ist.

Wie beträchtlich aber selbst eine geringe Dicke auf die Geschwindigkeit einwirkt, hat man an directen Versuchen mit kurzen Ansatzröhren gefunden. Hier tritt die Cohäsion wieder in ihre Rechte. Denn wird die Wand benetzt, so wird der nach seinem kleinsten Querschnitte hin convergirende Stral erweitert, sein Durchmesser wird dem der Röhre gleich und kann nicht nur cylindrisch, sondern sogar etwas divergirend gemacht werden. Erst bei einer gewissen Divergenz, die um so größer sein kann, je kleiner die Geschwindigkeit des Ausflusses ist, löst sich die Flüssigkeit von den Wänden der divergirenden Ansatzröhre ab und geht in selbstständiger Form durch die Oeffnung. Die Unterschiede zwischen jenem Maximum der Divergenz und der Gestalt der Vena contracta scheint mit der Synaphie zuzunehmen. Denn nach Hachette's Versuchen kann man die Divergenz des Wassers stärker vermehren als die des weniger cohärirenden Weingeistes. Bei Quecksilber haben kurze cylindrische Ansatzröhren von Glas und andren damit nicht benetzbaren Substanzen wahrscheinlich gar keinen Einfluß.

§. 222. Es giebt keinen Theil der Physik, bei dem die Versuche so mannigfaltig und so genau wären, wie die über den Ausfluß des Wassers aus Wandöffnungen, und dennoch sind keinesweges alle Fragen beantwortet. Untersuchungen über andre Flüssigkeiten als Wasser und über die Gestalt des Strales giebt es nur sehr wenige, und bloß über die Geschwindigkeit des Ausflusses bei verschiedenen Druckhöhen innerhalb der für die Hydrotechnik wichtigen Grenzen, besitzen wir ziemlich genügende Aufschlüsse.

Als Gründer der Hydrodynamik sind Newton und Daniel Bernoulli durch seine 1738 erschienene Hydrodynamik, eines der ausgezeichnetsten Werke in der Physik, anzusehen. Ausgedehnte Reihen von Versuchen, die noch jetzt benutzt zu werden verdienen, haben wir von Bossut, Buat und Michelotti, die in selbst-

ständigen Werken bekannt gemacht und von Prony, Langsdorf, Robison, Eytelwein und Egen in ihren mechanischen oder hydraulischen Werken redigirt und benutzt sind. Ueber Bossut und Buat hat Busse eine sehr schätzbare Kritik geliefert (Gilb. Annal. 1810. XXXIV. 152).

Zu diesen Hauptarbeiten sind viele Zusätze geliefert von

Brunacci Brugnat. Giorn. 1808. p. 375.

Derselbe Mem. dell' Instituto Lomb. Venet. 1824, Féruss. Bullet. techn. 1828. IX. p. 231.

Hachette Ann. Ch. Ph. 1816. III. p. 28; V. p. 52.

Poncelet und Lebros Ann. Ch. Ph. 1830. XLIII. p. 386.

Daubuisson ibid. 1830. XLIV. p. 225.

Corancez Theorie du mouvement de l'eau dans les Vases. 1830. Das Dasein dieses Werkes ist mir erst in dem Augenblicke, wo dieses Blatt der Presse übergeben wird, durch einen Auszug in den Göttinger Anzeigen, 1834. N. 173. p. 1721 bekannt geworden. Nach jenem Bericht ist es ein durch Versuche und Rechnungen sehr wichtiger Beitrag zur Hydrodynamik.

Lechevalier Le Lycée. 1831, in Berzelius Jahrb. XII. p. 53.

Rennie. Phil. Transact. 1831. p. 423.

Bewegung eines Flüssigen längs einer festen Wand.

§. 223. Bewegt sich das Wasser an feste Körper vorbei, so geht ein Theil der Bewegnng sowohl durch die Unebenheiten der Wand, als durch die Adhäsion verloren. Wenn die bewegende Ursache allen Wassertheilen eine gleich große Geschwindigkeit beizulegen strebt, so werden in Folge jener Reibung und Adhäsion die dem festen Körper am nächsten liegenden Theile am meisten von ihrer Geschwindigkeit einbüßen und der Verlust abnehmen, je größer ihre Entfernung ist. In einem offnen Kanale von einer Gestalt, welche gegen die ihn der Länge nach durchschneidende Verticalfläche symmetrisch ist, müßte die größte Geschwindigkeit an der Mittellinie der Oberfläche sein. Aber weil der Widerstand der Luft etwas störend einwirkt, so ist die Linie der größten Geschwindigkeit in dem Kanale etwas unterhalb der Oberfläche. In cylindrischen Röhren ist sie in der Mitte.

Ueber die Bewegung des Wassers in Kanälen giebt es viele Untersuchungen von Lombarden und Holländern, deren Flüsse größ-

tentheils in künstlichen Betten fließen und viele Schleußen und Abzugsgräben und dadurch auch hydrotechnische Untersuchungen nothwendig gemacht haben. Außerdem haben auch Hydrauliker andrer Länder viele Beobachtungen angestellt. Am genauesten möchten die von Raucourt angestellten Messungen sein (der Bericht von Navier darüber siehe Ann. Ch. Ph. 1831. XLVI. p. 87.)

Corancez (siehe §. 222.) hat das Wasser innerhalb eines Gefäßes schwingen lassen und bedeutende Abweichungen von der Rechnung gefunden. Sollten diese von der Reibung herrühren, die er wol nicht berechnet haben kann?

Recht interessante Nebenumstände bei dem Hingleiten von Wasser an festen Wänden sind beobachtet von:

Saulmon Hist. de l'Acad. 1714. p. 381.

Venturi aus einem kleinen 1797 zu Paris erschienenen hydrodynamischen Werke in Gilb. Annal. II. p. 418.

Behrens Gilb. Annal. 1806. XXIII. p. 233.

§. 224. Der Widerstand, den flüssige Körper erleiden, welche feste entlang strömen, ist identisch mit dem, welcher entsteht, wenn feste sich in flüssigen bewegen. Diese Art von Reibung ist von großem Einflusse auf die Bewegung von Schiffen, Mühlrädern u. s. w. Seit Newton sind daher viele Versuche gemacht, bald an Modellen von Schiffen und Rädern, bald an Pendeln von verschiedener Gestalt, oder Kugeln, die im Wasser oscillirten oder herabfielen. Die ältern Versuche sind am besten in den Werken von Smeaton, Bossut, Buat und Robison Mech. Philos. II. und in der Cycl. britan. Art. Navigation zusammengestellt. Aus neuerer Zeit besitzen wir Beobachtungsreihen von

Lagerhjelm und Forselles Kastn. Archiv. 1827. X. p. 79. XI. p. 304.

Poncelet Ann. Ch. Ph. 1825. XXX. p. 136. 225. 388.

Rennie Ph. Transact. 1831. p. 423.

Bessel über Schwingungen von Pendeln in Wasser. Astron. Nachrichten. 1831. p. 204. Pogg. Ann. XII. p. 346.

§. 225. Wenn man einem bewegten Stral einen kleinen festen Körper entgegenhält, oder diesen in ruhigem Wasser bewegt, so entstehen Wellen, die eine von der Gestalt und der Bewegung der beiden Körper abhängige Beschaffenheit haben. Sie sind von Poncelet beschrieben.

Ein höheres Interesse gewähren einige Beobachtungen, die Savart an einem mit gleichförmiger Geschwindigkeit ausfließenden Strale angestellt hat. Hält man diesem eine Scheibe von einem gewissen Durchmesser entgegen, so breitet sich die Flüssigkeit auf der Scheibe zu einer Schicht von einer Größe aus, die, so lange die Bewegung gleichförmig fortdauert, in ihrer Gestalt eben so constant ist, wie der flüssige Stral selbst. Bei übrigens gleichen Umständen hängt ihre Größe von der Geschwindigkeit des Ausflusses ab, und hat bei einer gewissen Geschwindigkeit ein Maximum. Dieses wird bedingt von der Größe der Oeffnung, der Entfernung der Scheibe von der Oeffnung, ihrem Durchmesser, ihrer Substanz, der Richtung, in welcher der Stral sie trifft und der Temperatur und Synaphie der Flüssigkeit. Je größer die Synaphie, desto kleiner scheint der Durchmesser der Schicht im Maximum zu sein. Bei dem Wasser glaubt Savart den kleinsten Werth für jenes Maximum oder die größte Synaphie bei 1—2° C. beobachtet zu haben. Indessen steht diese Temperatur dem Maximum der Dichtigkeit des Wassers und dem Frierpuncte so nahe, daß sie leicht mit einem von ihnen zusammenfallen könnte.

Ein andres Beispiel von der Combination einer von der Schwere verursachten Bewegung mit der Adhäsion an eine feste Fläche ist die Geschwindigkeit, mit der die Wellen sich fortpflanzen. Bei einer tiefen Flüssigkeit wird sie nach Webers Beobachtung durch den Boden des Gefäßes nicht merklich modificirt und ist bei Wasser, Kochsalz und Alkohol gleich groß. In seichterem Wasser nimmt sie aber auf eine Weise ab, welche die Vermuthung entfernt, daß der Verlust von dem specifischen Gewichte herrühren könne. Er ist am größten im Alkohol, das die kleinere Synaphie hat und am kleinsten im Wasser, das die größere Synaphie hat.

Savart's und Weber's Beobachtungsweisen sind genauer Messungen fähig, und bieten vielleicht neue Mittel dar, um die Synaphie selbst mit Schärfe zu bestimmen.

Poncelet Ann. Ch. Ph. 1831. XLVI. p. 5.

Savart l'Institut N. 22. Pogg. Annal. 1833. XXIX. p. 357.

Weber Wellenlehre 1825. p. 185.

Ausfluß aus Röhren.

§. 226. Die Ursachen, welche die Geschwindigkeit einer

Flüssigkeit an der Fläche eines festen Körpers vermindern, wirken in einem noch stärkern Grade in Röhren, die von der bewegten Flüssigkeit ganz ausgefüllt werden. Sie beschränken ihre Wirkung nicht auf die der Wand anliegende Schicht, sondern theils durch die Synaphie, theils durch die wellenförmigen Bewegungen, im Innern der Flüssigkeit, wodurch stets andre Theile an die Wände rücken, verbreitet sich die Verzögerung über die ganze Masse der Flüssigkeit, so daß die Geschwindigkeit von der Achse der Röhre an nach der Wand hin allmälig abnimmt.

Die Wände wirken auf zwiefache Weise hemmend ein, erstlich *mechanisch* durch ihre Unebenheit und zweitens *cohäsiv* durch die Adhäsion. Jene wird um so schwächer einwirken, je glätter das Innere der Röhren ist. Diese scheint mit der Vollkomenheit der Berührung des flüssigen uud festen Körpers zunehmen zu müssen. Beide sind daher von der Benetzung abhängig.

§. 267. Wenn die Wand der Röhre von der Flüssigkeit *nicht benetzt* wird, so dringt sie in die Unebenheiten gar nicht ein und der mechanische Theil der Reibung, welcher bei den festen Körpern von gewöhnlicher Beschaffenheit die Haupturſache der Reibung ist, fällt größtentheils weg. Die aus der Prosaphie an den Wänden entspringende Reibung ist aber, wie man an der leichten Beweglichkeit von nicht netzenden Flüssigkeiten (siehe §. 81) erfahren kann, ebenfalls nur schwach gegen die Synaphie der Flüssigkeit, und diese gleitet über die Wand mit einer geringen Hemmung hin. Die Größe dieser Reibung zu berechnen, hat weder die Rechnung noch die Beobachtrng Data genug an die Hand gegeben. Aber aus übereinstimmenden Versuchen, die *Buat* und *Girard* in Röhren von etwa 2 Millimeter Weite und ich selbst in Röhren 0,1 — 0,4 Millim. angestellt haben, hat Quecksilber, das durch enge Röhren fließt, eine mehrfach größere Geschwindigkeit als Wasser, das doch unter den übrigen Flüssigkeiten fast den schnellsten Ausfluß hat.

§. 228. Bei den *benetzenden* Flüssigkeiten folgt die Bewegung ganz andren Gesetzen. Die Unebenheiten der Röhrenwände werden ausgefüllt und die Flüssigkeit haftet an ihnen mit solcher Stärke, daß sie, wie man aus andren Erfahrungen weiß, einer bewegenden Kraft vdn beträchtlicher Intensität widerstehen kann. Sie ist daher beinahe in Ruhe und neutralisirt den Einfluß, den die Unebenheiten der Röhren und ihre Substanz auf die Bewegung äußern könn-

ten. Auch bewegt sich nach Girard's Beobachtungen das Wasser durch enge Röhren von Kupfer trotz seiner weit kleinern Glätte mit gleicher Geschwindigkeit als durch Röhren von Glas. Für Röhren von einem Decimeter und darüber Weite, war diese Gleichförmigkeit schon von ältern Beobachtern dargethan.

§. 229. Daß sich an der Röhrenwand eine Schicht von merklicher Dicke ganz in Ruhe befinde, wie Girard und andre meinen, ist eine weder wahrscheinliche noch durch die Erfahrung gebotene Annahme. Wenn man mit den Gesetzen der Geschwindigkeit für jeden Punct eines Durchschnittes der Röhren bekannt wäre, so könnte man aus der unmittelber beobachteten mittlern Geschwindigkeit aller Wassertheile die Geschwindigkeit eines jeden einzelnen berechnen; aber einige, auf willkürlichen Hypothesen beruhende empirische Formeln ausgenommen, hat man sich mit diesen Fragen noch nicht beschäftigt. Folgende Gleichung weicht zwar von den bisher aufgestellten etwas ab, ist aber einfacher als sie und stimmt recht gut mit den Beobachtungen überein.

Es sei die Geschwindigkeit aus einer Wandöffnung von der Weite der cylindrischen Röhre $= c$.

Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre $= v$. Diese Größe ist in der ganzen Länge der Röhre constant.

Die Länge der Röhre von dem Orte an gerechnet, wo bei einer Wandöffnung die größte Contraction sein würde, $= l$. Bei Röhren, deren Weite gegen ihre Länge vernachlässigt werden kann, ist l von der ganzen Länge der Röhre nicht merklich verschieden.

Es ist $cc - vv = alv + blvv$.

a und b sind zwei von der Geschwindigkeit und der Substanz der Röhre und ihrer Länge unabhängige Größen. Sie sind aber von ihrer Weite dergestalt abhängig, daß bei Röhren, die über 15 Millimeter weit sind, a sehr klein wird, und wenn sie unter 1 Millimeter weit ist, b verschwindet.

Also

für weite Röhren $cc - vv = blvv$

für enge Röhren $cc - vv = alv$

Wir beschäftigen uns nur mit engen Röhren.

Es ist meine Absicht nicht, den Werth von a für verschiedene Flüssigkeiten und Temperaturen zu entwickeln. Ich behalte mir dieses auf eine andre Zeit vor und will hier bloß einige für die Theor

der Cohäsion wichtige Momente auffassen. Unter diesen nimmt die Temperatur unser Interesse am meisten in Anspruch.

§. 230. Ueber den Einfluß der Temperatur hat Gerstner die ersten genauen Versuche angestellt, aus denen ich Folgendes abgeleitet habe.

In seinem Recipienten sank das Wasser zuerst von der Druckhöhe von 282 Millim. auf 150 Millim. herab. Die Ausflußzeit, für die man die mittlere Druckhöhe auf 216 Millim. setzen kann, sei m.

Das Wasser sank dann von 150 auf 18 Millim. herab, und die Ausflußzeit bei der mittleren Höhe von 84 Millim. sei $=$ n.

m und n wurden bei 5° und bei 37½ C. mittlerer Temperatur beobachtet und waren kleiner bei der höhern Temperatur.

Die beiden letzten Rubriken der folgenden Tabelle enthalten das Verhältniß der Ausflußzeiten von 5° und 37½, bei der mittleren Höhe von 216, und dasselbe bei der mittleren Höhe von 84 Millim.

Nummer des Versuches.	Röhren.		Druckhöhe, Millim.	
	Durchm.	Länge Millimeter.	216	84
1	1,76	270	2,16	2,42
2	83	256	1,51	1,80
3	3,14	256	03	13
4	52	870	26	73
5	66	208	03	13
6	5,27	1,296	03	25

Die Zahlen der beiden letzten Rubriken geben ein Mittel an die Hand, den Einfluß der Wärme zu schätzen.

Dieser ist größer bei einer kleinern Druckhöhe.

Aus einer Vergleichung der Versuche 1 und 2; 3, 4 und 5 geht hervor, daß der Einfluß der Wärme in längern Röhren größer ist. Aus der Vergleichung von 1 und 4; 2 und 3, daß er bei weitern Röhren kleiner ist. Also im Ganzen wird der Einfluß der Wärme durch dieselben Bedingungen größer, welche die Bewegung verzögern. Daß er bei 3, 5 und 6 fast gleichförmig ist, rührt davon her, daß der Einfluß der größern Weite durch den entgegengesetzten der größern Länge ausgeglichen wird.

§. 231. Ganz damit übereinstimmende Resultate hat Girard bei Wasser, mehrern Salzen, Essig und Weingeist gefunden.

Auf die größere Beweglichkeit der Flüssigkeiten in höherer Temperatur beruhen auch einige Bewegungen, welche Raspail und Dutrochet bei Weingeist oder Wasser in Röhren beobachtet haben und jener gar nicht, dieser nicht ganz richtig erklärt hat. Denn das Licht für sich, ohne die Wärme, hat, einige chemische Processe ausgenommen, gar keinen Einfluß auf die Lage oder die Beschaffenheit der Körper.

In Versuchen, die Schübler und Bentsche in ihrem Viscosimeter angestellt haben, d. h. einem Instrumente, wo die Klebrigkeit eines Flüssigen durch die Geschwindigkeit seines Ausflusses gemessen wird, reichte eine Temperaturerhöhung von $7^0,5$ hin, um den Ausfluß vieler Oele um 0,3 oder 0,5 zu vermehren. Indessen wirkte die Wärme hier nicht bloß auf dieselbe Weise wie bei dem Wasser, sondern auch aus einem andren Grunde beschleunigend. Die Oele sind keine homogenen Flüssigkeiten, sondern Gemenge von zwei oder mehreren Stoffen, von denen der festere zum Theil in dem flüssigen aufgelöst, zum Theil aber bloß suspendirt ist. Das letzte verursacht eigentlich die Klebrigkeit. In einer erhöhten Temperatur wird nicht nur die Beweglichkeit des flüssigen Theiles vermehrt, sondern auch von dem noch festen ein Theil aufgelöst.

Dasselbe gilt von den Versuchen von Schlumberger und Dollfuß mit arabischem Gummi, Stärkemehl u. dgl. in einem ähnlichen Instrumente.

§. 232. Ueber die relative Geschwindigkeit bei dem Ausflusse verschiedener Flüssigkeiten hat schon Buat einige Beobachtungen angestellt; aber die genauesten und zahlreichsten sind von Girard, von denen auch ich einige wiederholt habe. Girard's Versuche habe ich auf folgende Weise berechnet: Seine Temperaturen, die über den Raum von 0^0 — 90^0 C. unregelmäßig zerstreut sind, habe ich durch eine Interpolation, welche nur auf die nächsten Glieder Rücksicht nahm, so weit es mit einiger Zuverlässigkeit geschehen konnte, auf Temperaturen reducirt, die sich durch 5 theilen lassen. Bei 30^0 waren fast alle Flüssigkeiten umittelbar beobachtet. Ich habe daher die Ausfluß-Zeit für diese Temperatur = 1 gesetzt und die Beobachtungen der übrigen Temperaturen darauf reducirt. Wo keine Beobachtung bei 30^0 war, habe ich sie interpolirt und die übrigen

ebenfalls darauf reducirt, aber ein Fragezeichen dabei gesetzt. Dadurch übersieht man mit einem Blicke den Gang des Ausflusses nach den Temperaturen. Um aber auch den Einfluß zu erkennen, den die chemische Beschaffenheit der Flüssigkeit hat, sind in den letzten Reihen der Tabellen alle beobachteten oder interpolirten Werthe für 30° zusammengestellt, das Wasser = 1 gesetzt.

Das specifische Gewicht ist nicht angegeben.

+ 2W; + 3W u. s. w. bedeutet, daß ein Theil des flüssigen oder festen Stoffes mit 2 oder 3 Gewichtstheilen Wasser verbunden ist.

Die Röhre, mit der alle Versuche der Tabelle angestellt sind, war von Glas, 939 Millim. lang, 1,77 weit. Der Druck fiel von 210 auf 154,9 Millim., hatte also den mittlern Werth von 182,4 Millim.

Das Wasser brauchte, um bei 30° C. ¼ Litre zu füllen, 486 Secunden.

Temp. C.	Wasser	Salpeter.			Chlornatrium		Zucker.	
		+ 2W	+ 3W	+ 4W	+ 3W	+ 6W	+ 3W	+ 6 W
0°	2,01	—	—	—	1,85	2,01	—	—
5	1,82	—	—	—	—	—	1,92	—
10	58	—	1,49	—	—	—	69	—
15	40	—	33	1,29	—	—	—	—
20	20	—	19	17	1,19	1,19	16	—
25	11	—	—	—	—	—	—	—
30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
35	—	—	—	—	—	—	—	—
40	0,86	0,88	0,88	0,9	0,83	0,81	0,81	0,83
45	—	—	—	—	—	—	—	—
50	74	75	75	76	70	72	66	69
55	—	—	—	—	—	—	—	—
60	65	70	70	69	61	62	54	58
65	—	—	—	—	—	—	—	—
70	57	67	67	62	—	—	—	—
75	53	—	—	—	—	—	—	—
80	53	60	60	57	49	—	40	45
85	52	—	—	—	—	—	—	—
90	—	55	55	—	—	—	—	—
30°	1,00	1,04?	0,94	0,95	1,50	1,20	2,08	1,44

Temp. C.	ſchwfls. Natron	Eſſig.			Terpt. Oel.	Weingeiſt von 0,87.		
	+ 3 W	rein	+ ½ W	+ 1 W		rein	+ 2 W	+ 3 W.
0°	—	2,20	—	1,83	—	2,58	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	2,17?
10	—	1,54	—	—	—	1,62	—	—
15	—	—	—	—	—	39	—	—
20	1,30	44	1,24	25	1,20	20	1,33	1,47
25	—	—	—	—	08	—	—	—
30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
35	—	—	—	—	—	—	—	—
40	0,80	0,85	0,83	0,83	0,88	—	0,79	0,79
45	—	—	—	—	—	0,76	—	—
50	68	71	70	71	77	—	64	65
55	—	—	—	—	—	—	—	—
60	55	62	62	62	—	62	54	58
65	—	—	—	—	—	—	—	—
70	—	—	53	54	—	53	—	48
75	—	—	—	—	—	—	—	—
80	—	—	—	—	—	—	—	—
85	—	47	47	47	—	—	—	—
90	—	—	—	—	—	—	—	—
30°	1,39	1,20	1,15	1,14	2,26	2,44	1,65	1,42

Der ſchnelle Ausfluß des Salpeters, der ſich in den Zahlen 0,94 und 0,95 der letzten Reihe ausſpricht, bezieht ſich nur auf die Temperatur von 30°. Die übrigen Zahlen ſind meiſtentheils etwas größer als Waſſer, das alſo mit wenigen Ausnahmen einen ſchnellern Abfluß hat als die Salpeterlöſungen.

Die erſte Zuckerlöſung hat einen ſehr hohen Werth. War ſie vielleicht etwas klebrig?

Dieſe Zahlen ſind nicht der mittlere Werth mehrerer Beobachtungen, ſondern nur einmal gefunden und daher mit all' den Zufälligkeiten behaftet, welchen, wie alle Beobachtungen über die Cohärenz der Flüſſigen, auch dieſe hier unterworfen ſind. Indeſſen würde dieſes bei der Genauigkeit, welche Girard bei der Meſſung der Zeit und des ausgefloſſenen Volumens erlangen konnte, von keiner großen Bedeutung ſein, wenn die Temperatur eben ſo zuverläßig beobachtet wäre; aber dieſes bezweifle ich. Ein Fehler aber von 2—3°

ist, besonders in niedrigen Temperaturen, hinreichend, den Gang beträchtlich zu verändern.

Auch sind die Versuche nur mit einer Röhre angestellt worden und es sind keine von gleichem Umfange mit andren Röhren vorhanden; aber in Verbindung mit der Tabelle des §. 230. und einigen Beobachtungen von andren und mir selbst *) dürfen wir hoffen, uns ein treues Bild von den Veränderungen, welche die Wärme in der Ausflußgeschwindigkeit hervorbringt, entwerfen zu können.

§. 233. Bei Wandöffnungen und bei Röhren von einigen Metern Länge und 20 Millimetern und darüber Weite ist die Temperatur ohne merklichen Einfluß. Bei einer kleinern Weite beginnt der Einfluß der Wärme, und das Verhältniß der Ausflußzeiten bei zwei Temperaturen z. B. 20^0 und 60^0 wird um so größer, je enger die Röhren sind. Ich will es, um Wiederholungen zu ersparen, das thermische Verhältniß nennen. Dieses hat für verschiedene Flüssigkeiten eine ungleiche Größe. Bei einer Röhre von etwa 42 Millim. Weite und 900 Millim. Länge ist es für die beiden genannten Temperaturen

bei Wasser 1,09 : 1,
bei Weingeist 2,56 : 1.

Die Zahl 2,56 ist zwar vielleicht nur durch einen Schreibfehler bei Girard, viel zu groß, aber es geht aus einigen wörtlichen Bemerkungen Girard's hervor, daß sie von 2,00 nicht sehr entfernt sein kann. Bei beiden Flüssigkeiten ist also der Einfluß der Wärme vorhanden, aber er ist viel größer bei dem Weingeist, als bei dem Wasser.

Aus den Tabellen der vorhergehenden Paragraphen, wo die Weite ungefähr 1,8 und die Länge 940 Millim. betrug, ergeben sich für 20^0 und 60^0 die Verhältnisse

bei Wasser 1,85,
bei Meingeist 1,93.

Sie sind also einander beinahe gleich geworden. Bei diesen Röhren hatten auch die zahlreichen übrigen Flüssigkeiten bei aller Ver-

*) Ich bediente mich weiter Barometerröhren, an welche enge Thermometerröhren geschmolzen waren, aus denen die Flüssigkeit bald in Tropfen, bald in einem dünnen Strale auslief. Ich erhielt in verschiedenen Ausfluß-Apparaten dieser Art immer dieselben Verhältnisse zwischen den Geschwindigkeiten von Wasser und Weingeist.

ſchiedenheit in der abſoluten Ausflußzeit eine ſehr nahe Uebereinſtimmung in dem Gange der Veränderungen; die thermiſchen Verhältniſſe ſind, wie ein Blick auf die Tabelle zeigt, ganz unabhängig von dem Frier- und dem Siedpuncte der Flüſſigkeiten, und vielleicht auch von dem ſpecifiſchen Gewichte. Es iſt wahrſcheinlich, daß es ſich bei verſchiedenen Temperaturen einem gewiſſen Maximum nähert, das zwar niemals ganz erreicht wird, dem ſie aber deſto näher ſtehen, je enger die Röhre iſt. Dieſes Maximum, welches ich das finale thermiſche Verhältniß nennen will, iſt für alle benetzende Flüſſigkeiten gleich; aber die Annäherung an daſſelbe iſt für verſchiedene Flüſſigkeiten von ungleicher Geſchwindigkeit. Bei dem Waſſer iſt ſie weit langſamer, als bei dem Weingeiſt, der ihm ſchon bei einer Röhre von 4 Millim. Weite ſo nahe ſteht, wie das Waſſer bei 2 Millim. und weniger. Bei der Uebereinſtimmung, die in unſerer Tabelle zwiſchen den thermiſchen Verhältniſſen verſchiedener Flüſſigkeiten ſtatt findet, iſt zu vermuthen, daß die Zahlen von dem finalen thermiſchen Verhältniſſe nicht mehr weit entfernt ſind.

§. 234. Dieſe Gleichförmigkeit in den thermiſchen Verhältniſſen erhebt die Zahlen der letzten Reihe der Tabelle zu einer großen Wichtigkeit. Sie ſind faſt unabhängig von den Dimenſionen der Röhren, ſobald dieſe eine gewiſſe Grenze erreicht haben, von der Geſchwindigkeit des Ausfluſſes und ſelbſt von der Temperatur, und beziehen ſich bloß auf die Beſchaffenheit der Flüſſigkeit und die Subſtanz der Röhren. Aber auch dieſe iſt ohne Einfluß, wenn, wie es den Anſchein hat, die Ausflußzeit in Glas und Metall gleich groß ſind. Es bleibt daher bloß die Wechſelwirkung der flüſſigen Theile ſelbſt und die Kraft ihrer Anziehung an die benetzte Wand übrig, und es würden die Verhältniſſe der Ausflußgeſchwindigkeiten für die Bewegung dieſelbe Wichtigkeit haben, welche die Synaphie für die Ruhe hat.

§. 235. Schon Buat wußte, daß das Waſſer durch Haarröhren mit größerer Geſchwindigkeit geht als Salzlöſungen und dieſe mit einer größeren als Alkohol. Dieſes wird von Girard beſtätigt. Von den verdünnten Salpeterlöſungen abgeſehen, deren größere Ausflußgeſchwindigkeit nur ſcheinbar iſt, ſteht das Waſſer an der Spitze der Reihe, ſeine Bewegung iſt am ſchnellſten. Am langſamſten bewegen ſich Weingeiſt und Terpentinöl. Zwiſchen beiden ſtehen die wäſſerigen Löſungen von Eſſigſäure, Zucker und

Salzen, welche um ſo ſchneller ausfließen, je verdünnter ſie ſind. Girard hat das ſpeciſiſche Gewicht der unterſuchten Flüſſigkeiten nicht angegeben, auch ſind die Unregelmäßigkeiten in den Ausflußzeiten zu groß, um da, wo die Unterſchiede klein ſind, wie zwiſchen den wäſſerigen Löſungen und dem Waſſer ſelbſt, eine numeriſche Vergleichung zu geſtatten. Terpentinöl und Weingeiſt weichen jedoch vom Waſſer am meiſten in ihrem Ausfluſſe ab, und hier findet auch eine merkwürdige Uebereinſtimmung mit der Rubrik D unſrer Tabelle für die Synaphie (§. 40) oder der Höhe, zu welchen ſich die Flüſſigkeit in einer engen Röhre erhebt. Es iſt nämlich bei

	Waſſer,	Terpentinöl,	Weingeiſt v. 0,87.
Geſchwindigkeit des Ausfluſſes	1,00	2,26	2,44
Capillarhöhe	14,8	6,7	6,1
Product beider	14,8	15,1	14,8.

Das Product iſt bei dieſen drei Körpern conſtant, und wenn es ſich auch bei den Auflöſungen nicht ſo gleichförmig ergeben ſollte, ſo iſt auch hier die Uebereinſtimmung unverkennbar. Bei einer Beobachtung über den Aether, welche Girard mittheilt, wonach er mehr als 8 mal ſchneller ausläuft, als Weingeiſt, iſt gewiß ein Irrthum; die Geſchwindigkeit beider Flüſſigkeit iſt bei ganz engen Röhren nicht beträchtlich verſchieden. Nehmen wir an, was ich jedoch nur als Möglichkeit ausſpreche, daß jene Gleichförmigkeit die Regel ſei, welche nur durch die geringen Veränderungen, welche die Wärme in dem ſpeciſiſchen Gewichte und in der Synaphie hervorbringt, modificirt wird; ſo iſt die Ausflußgeſchwindigkeit der Capillarhöhe oder dem Quadrate der ſpecifiſchen Synaphie verkehrt proportional, und nicht Weingeiſt iſt, wie man gewöhnlich annimmt, leichtflüſſig zu nennen, ſondern das Waſſer iſt von allen benetzenden Flüſſigkeiten am leichtflüſſigſten. Woher der Irrthum in der gewöhnlichen Anſicht ſtammt, habe ich ſchon oben angeführt. Man verwechſelt die Leichtigkeit zu benetzen mit der Leichtigkeit durch benetzte Wände zu fließen, die nicht nur in ihren Principien verſchieden, ſondern einander ſogar entgegengeſetzt ſind. (Siehe §. 28 und Tropfenbildung.)

§. 136. Die leichte Beweglichkeit des Waſſers auf einem benetzten Körper zeigt ſich ſehr häufig z. B. bei den Tropfen (§. 62 ff.) welche dadurch vergrößert werden, bei der Fortpflanzung der Wellen (§. 225), bei der Bewegung eines Flugrades im Innern

einer Flüssigkeit, bei den Oscillationen, welche eine Flüssigkeit in einer Heberröhre macht, um das verlorene Gleichgewicht wieder zu erlangen. Hierüber hat Lehot einige Versuche angestellt. Er beobachtete die Differenz in der Weite zweier benachbarten Oscillationen oder ihrer Anzahl, bis ihre Weite eine gewisse Grenze erreicht hatte, und fand

	im Wasser,	Alkohol,	Queckſilber.
bei 6°C.	8	7	—
17	12	9	16
80	—	16	—
92	16	—	—

Nach 9 Oscillationen war der Alkohol so weit gebracht, als das Wasser erst durch 12 und das Queckſilber durch 16, also die Reibung an der Wand war am kleinsten im Queckſilber, am größten im Weingeist. In höheren Temperaturen werden die Unterschiede kleiner. Das Queckſilber, auf welches die Wärme auch im Ausströmen wenig Einfluß hat, würde wahrscheinlich bei allen Temperaturen dieselbe Reibung zeigen.

§. 226. Den Vorgang bei dem Abflusse durch cylindrische, horizontal gestellte Röhren kann man sich folgendermaßen vorstellen: In dem Recipienten nimmt die Dichtigkeit des Wassers von der Oberfläche an bis an das Niveau der Oeffnung zu und hat hier eine solche Größe erreicht, daß die Geschwindigkeit, die ein flüssiges Theilchen, durch das Bestreben sich zu seiner gewöhnlichen Dichtigkeit auszudehnen, erlangen würde, derjenigen eines von der Wasserhöhe herabgefallenen Körpers gleich ist. Diese Geschwindigkeit können die Theilchen nicht annehmen, wenn sie genöthigt sind, sich durch eine Röhre zu bewegen. Innerhalb dieser Röhre nimmt die Compression ab von ihrem Anfange im Gefäße an, bis zu ihrer Mündung, wie aus der nicht schwer zu messenden Kraft, mit der die Flüssigkeit an die Wände der Röhre drückt, hervorgeht. Das Wasser ist in dieser Beziehung der Luft gleich, die ebenfalls, wenn sie aus Kanälen strömt, eine allmälig abnehmende Compression erleidet. Aber die Luft wird durch die Compression auch in ihrer Dichtigkeit so stark verändert, daß zwar die Luftmasse, welche in einer Secunde durch jeden Querschnitt geht, in der ganzen Länge der Röhre constant ist, aber nicht die Geschwindigkeit der einzelnen Lufttheile. Bei dem Wasser dagegen, wo die Dichtigkeit durch keine

Compression, die wir bei seinem Ausflusse anwenden, auf eine merkliche Weise verändert wird, ist auch die Geschwindigkeit für alle Querschnitte der ganzen Röhre constant.

Die mittlere Geschwindigkeit in der Röhre hängt ab von der absoluten Geschwindigkeit in der Mitte und dem Gesetze ihrer Abnahme nach der Peripherie hin, und läßt sich daher mit unendlich vielen centralen Geschwindigkeiten vereinigen. Sie scheint von zwei Ursachen abzuhängen.

1) Der Anziehung der über einander hingleitenden flüssigen Theile auf einander.

2) Der Einwirkung der Wände oder der an ihnen haftenden flüssigen Schicht, deren Dicke sich wahrscheinlich nicht über die Wirkungssphäre der Wand erstreckt oder unendlich dünn ist, in demselben Sinne, wie man sagen kann, daß von einem schwingenden Pendel ein unendlich dünner Theil sich an dem Gestelle in Ruhe befinde.

§. 237. In dieser Betrachtung findet ein höchst paradoxer Umstand bei der Bewegung durch Röhren seine wahrscheinliche Erklärung, nämlich die Wirkungsweise der Wärme. Es ist erwiesen, selbst wenn man die Richtigkeit der oben angegebenen Verhältnisse bestreiten will, daß im Ganzen die Ausflußgeschwindigkeit mit der specifischen Synaphie steigt. Wärme aber und Cohärenz sind einander oft entgegengesetzt, die Synaphie ist sogar in höheren Temperatnren etwas kleiner; man sollte daher erwarten, daß die Wärme eine der Synaphie entgegengesetzte Wirkung auf den Ausfluß haben werde. Aber es findet gerade das Gegentheil statt. Sie vermehrt den Ausfluß ebenfalls und zwar in starkem Verhältnisse. Anzunehmen, daß die Wärme die Synaphie selbst vermehre, widerspricht allen Versuchen. Vermuthlich findet folgendes statt:

Die erste der beiden oben genannten Ursachen ist unmittelbar von der Synaphie abhängig. Je stärker sie wirkt, desto rascher bewegen sich die flüssigen Theile in der Röhre; durch die zweite dagegen wird die Bewegung verzögert. Nehmen wir nun an, daß die Wärme dieses Hingleiten der Flüssigkeit auf der Wand erleichtere, eine Annahme, die an sich nichts unwahrscheinliches enthält: so könnten wir den übereinstimmenden Einfluß so heterogener Kräfte, wie Wärme und Synaphie, einigermaßen erklären. Ich gestehe, daß mir diese Erklärung keineswegs genügt, aber die An-

nahme, daß sich auf der Röhre eine Schicht Wassers u. s. w. von einer gewissen Dicke bilde, welche den Raum verenge, mit dem Steigen der Temperatur an Dicke abnehme und der bewegten Flüssigkeit einen größeren Spielraum gewähre, bedarf keiner Widerlegung. Eine Hypothese, welche einen Unterschied macht zwischen der Kraft, mit der zwei flüssige Theile sich anziehen, und der Geschwindigkeit, mit der sie über einander fortgleiten, und die letzte mit der Temperatur bedeutend zunehmen läßt, wäre zu gewagt. Das Spiel der Kräfte beim Ausflusse der Flüssigkeiten ist also noch sehr dunkel und es fehlt an Versuchen, die der Rechnung als Grundlage dienen könnten.

§. 238. Mit mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit kann man daher über den Ausfluß von Flüssigkeiten aus Röhren folgendes annehmen:

1) Bei Wandöffnungen oder weiten Röhren ist der Ausfluß von der Beschaffenheit der Flüssigkeit unabhängig.

2) Die Beschaffenheit der Röhre hat bei benetzenden Flüssigkeiten keinen bemerklichen Einfluß.

3) Bei engeren Röhren werden die Flüssigkeiten, die eine stärkere specifische Synaphie haben, weniger verzögert als andre. Je enger die Röhre ist, desto mehr werden die Verhältnisse ihrer Ausflußgeschwindigkeiten und die der Quadrate ihrer specifischen Synaphien einander genähert.

4) Die Wärme hat keinen Einfluß bei Wandöffnungen und weiten Röhren. Sie vermehrt die Geschwindigkeit in engen Röhren. Ihr Einfluß oder das thermische Verhältniß zwischen zwei Temperaturen nähert sich, je enger die Röhre wird, einem Maximum, dem er schon bei der Röhre der Tabelle §. 232, sehr nahe gekommen ist. Von allen Einwirkungen, welche die Wärme in Flüssigkeiten hervorbringt, kann sich zwischen 0° und 80° nur der Einfluß auf die Elasticität der Dämpfe mit demjenigen auf die Geschwindigkeit an Stärke messen.

5) Dieses Maximum ist für verschiedene Flüssigkeiten constant; also die Verhältnisse der Ausflußgeschwindigkeiten von der Temperatur unabhängig.

6) Die Flüssigkeiten mit kleiner Synaphie nähern sich dem Maximum schneller, daher bei Röhren von mittlerer Weite die Wir-

kung der Wärme auf Wasser dem Anscheine nach kleiner ist, als auf Alkohol.

7) In niederen Temperaturen bringt eine gewisse Anzahl von Graden eine weit größere Wirkung hervor als in höheren. 5° C. in der Nähe von 0°C. vermehren die Geschwindigkeit um 1/6—1/8; in der Nähe von 80°C. nur um 1/50. Bei einer den Siedpunct des Wassers nicht sehr überschreitenden Temperatur würde eine Vermehrung derselben, wenn man sie beobachten könnte, wahrscheinlich keine beträchtlichen Veränderungen hervorbringen.

8) Nicht netzende Flüssigkeiten sind in ihrem Ausflusse auf keine merkliche Weise von der Wärme abhängig.

9) Das Quecksilber hat eine kleinere Reibung an Glas als selbst das Wasser. Aber da es die einzige nicht benetzende Flüssigkeit ist, die man untersuchen konnte, so bleibt es zweifelhaft, ob dieses von der geringen Prosaphie herrührt und allen nicht netzenden Flüssigkeiten eigen ist, oder bloß von dem specifischen Gewicht.

§. 239. Ueber die Literatur muß ich dieselbe Klage führen, die ich schon oft ausgesprochen habe, daß es an genauen Versuchen fehlt, um die hier aufgeworfenen Fragen zu beantworten. Aber hier sind sie weit leichter anzustellen, als in den vorhergehenden Abschnitten; die Apparate sind einfach und einer großen Genauigkeit fähig. Man darf daher hoffen, daß diese Lücke in der Cohäsionslehre bald ausgefüllt sein werde.

Die Hauptarbeiten sind von

Gerstner Abhandl. der böhmischen Gesellschaft 1798. III. p. 141. Gilb. Annal. V. p. 160. Seine Versuche, sowohl die hier, als die an andren Theilen dieses Werkes benutzten, sind scharfsinnig ausgedacht, genau und gut beschrieben. Mit den Berechnungen, wie sie sich in der von seinem Sohne herausgegebenen Mechanik finden, bin ich jedoch nicht immer einverstanden.

Girard Mém. de l'Acad. 1816. I. p. 186—274. Annal. Ch. Ph. I. 436; IV. 146. Er ist ein sorgfältiger und redlicher Beobachter, der in seinen Versuchen nach numerischer Genauigkeit strebt und sie auch gewöhnlich durch Rechnung verbindet. Seine Darstellung erlangt dadurch den Anschein von großer Gründlichkeit. Aber die Uebereinstimmung seiner empirischen Formeln mit den Versuchen bürgt keineswegs für ihre Richtigkeit. Die Hypothesen, aus denen er seine Formeln entwickelt, sind oft erweislich falsch, und in

den Schlüssen selbst finden sich Sprünge, welche man ohne sorgfältige Prüfung in der scheinbar so logisch richtigen Entwicklung nicht erwarten sollte. Seine theoretischen Resultate sind daher mit größtem Mißtrauen aufzunehmen, und seine Darstellung übertrifft an Breite alles, was ich sonst in experimentellen Untersuchungen in der Physik kenne.

Einige Beiträge finden sich in

Buats Hydrodynamik.

Lehot Ann. Ch. Ph. 1820. XIII. p. 5. Gilb. Annal. LXV. p. 64.

Schübler und Bentsche Erdman Journ. II. p. 369. V. p. 30.

Dollfuß ibid. 1833. XVI. p. 229.

Schlumberger ibid. p. 236.

II. Bewegung einer Flüssigkeit zwischen beweglichen festen Körpern.

§. 240. Wenn einer Flüssigkeit feste Theile beigemengt sind, die nicht genau dasselbe specifische Gewicht haben, so werden sie, wenn das Gleichgewicht hergestellt ist, sich entweder an der Oberfläche oder an dem Boden angesammelt haben. In jenem Falle finden die §. 66. ff. erwähnten Gesetze ihre Anwendung; das Resultat ist verschieden, je nachdem der schwebende Stoff und das Gefäß benetzt werden kann oder nicht. In diesem Falle scheint die Art der Ablagerung von der Gestalt des sich senkenden Stoffes und seiner Prosaphie zur Flüssigkeit abhängig zu sein, und wenn er sich in fein zertheiltem Zustande befindet, einen weit größeren Raum einzunehmen, als außerhalb der Flüssigkeit, indem diese nicht nur die Zwischenräume ausfüllt, sondern auch die einzelnen Theilchen von einander entfernt hält. Man sieht dieses z. B. bei Quecksilber, welches mit Wasser, besonders aber mit Aether oder Oel umgerührt ist; die ganze Masse verwandelt sich in ein Aggregat von Tropfen, die trotz des starken Drucks, den die unteren Schichten erleiden, als Tropfen verharren, deren Zwischenräume nicht nur das Oel einnimmt, sondern die auch durch Oel von einander getrennt sind. Denn Tropfen, die sich in einem Puncte berühren, werden sich schnell zu einem Ganzen vereinigen, und das sie theilweise noch trennende Oel verdrängen. Ich will jedoch hier nicht den finalen Zustand eines in einer Flüssigkeit schwe-

benden, festen Körpers betrachten, sondern nur die Bewegung eines der Flüssigkeit beigemengten, staubartigen, specifisch schwereren Stoffes, der fest oder flüssig sein kann.

Absatz von Pulvern.

§. 241. Ein solches Gemenge entsteht sehr häufig, bald indem man einen fein zertheilten, festen Stoff mit einem flüssigen umrührt, bald indem man einen bisher physisch oder chemisch aufgelösten Stoff ausscheidet. Wenn man z. B. zwei schwache Baryt- und Schwefelsäure-Auflösungen zusammengießt, so entsteht an jedem Puncte, wo beide sich treffen, schwefelsaures Baryt als fester suspendirter Körper. Dieser ist so fein zertheilt, daß man seine einzelne Krystalle nicht unterscheiden kann, und wenn die Lichtbrechung des aus der Lösung geschiedenen Stoffes nicht zu sehr verschieden ist von derjenigen der Flüssigkeit, so wird die Durchsichtigkeit des Gemenges eben so wenig getrübt, als die Reflexion eines Spiegels durch die Rauhheit der Oberfläche, deren Politur durch ein Pulver hervorgebracht wird, das weit weniger fein ist, als mehrere Niederschläge aus Auflösungen. Ist der ausgeschiedene Stoff gefärbt, so nimmt die Flüssigkeit eine scheinbar gleichförmige Färbung an, und giebt uns ein Mittel an die Hand, die Stärke der Suspension zu schätzen, bis sie, nachdem alles ausgeschieden ist, ihre gewöhnliche Färbung oder ihre Farblosigkeit wieder erlangt hat. Die suspendirten Stoffe gehen auch gar nicht selten durch's Filtrum und sind für chemisch oder physisch aufgelöst gehalten worden. Viele Abweichungen in dem Gehalt der Auflösungen mögen auf solchen Mißgriffen beruhen, und wenn z. B. Wasser, das mit saurem weinsauren Kali geschüttelt wird, mehr davon aufzunehmen schien, als wenn es in höherer Temperatur gesättigt und abgekühlt wurde, so rührte die es unstreitig von einigen suspendirten Theilen her.

§. 242. Das specifische Gewicht des Gemenges, man mag sein Volumen und seine Masse unmittelbar oder mittels des Aräometers bestimmen, ist so groß, wie in einer homogenen flüssigen Masse von gleicher Zusammensetzung. Also bei gleichem Rauminhalt des Pulvers gewinnt der Alkohol mehr an Gewicht als das Wasser. Dieses geht sowohl aus den Versuchen, als aus der Theorie der Hydrostatik hervor, und man bedarf der seltsamen Hypo-

theſen nicht, womit Girard dieſe Erſcheinung zu erklären verſucht hat.

§. 243. Auf das Schweben der feſten Theile ſind folgende Urſachen von Einfluß:

1) Das ſpecifiſche Gewicht des feſten Körpers wird vermindert. Es ſei V ſein Volumen, ϱ_1 und ϱ ſein und der Flüſſigkeit ſpecifiſches Gewicht, ſo iſt die Fallkraft $V(\varrho_1 - \varrho)$. Je kleiner dieſe Differenz iſt, deſto langſamer iſt das Fallen. Bei gleicher Cohäſion und Größe werden Metalltheile ſchneller fallen, als Thontheile und in Salzlöſungen langſamer als in Waſſer.

2) Der feſte Körper kann ſich nicht ſenken ohne eine Säule Flüſſigkeit, die unter ihm iſt, mit fortzuführen. Dieſe Mittheilung ſeiner Bewegung an die Flüſſigkeit iſt die vornehmſte Störung, welche der feſte Stoff in ſeinem Niederſenken erfährt. Geſetzt das Gewicht der fortgeſtoßenen Waſſertheilchen iſt 10 mal ſo groß wie das Gewicht des feſten Theilchens, ſo wird ſeine Beſchleunigung nur $^1/_{11}$ von derjenigen ſein, welche aus der Formel $V(\varrho_1 - \varrho)$ hervorgeht. Ich will keine Vermuthung aufſtellen über die Länge dieſer Säule; aber ihr Gewicht wird der Oberfläche des Theilchens beinahe proportional ſein. Da aber die Maſſe in Körpern von ähnlicher Geſtalt wie der Kubus der Längendimenſionen wächſt, die Oberfläche nur wie das Quadrat, ſo iſt das Gewicht der Waſſerſäule den Längendimenſionen proportional. Die Fallbeſchleunigung eines Kügelchens von 0,001 Millim. Durchmeſſer iſt daher 100 mal ſo groß, als die eines andren von 0,1 Millim. Daher die ſehr geringe Geſchwindigkeit, mit der ſich Präcipitate von Kohle, Silber und Gold aus verdünnten Auflöſungen abſetzen.

3) Wenn die feſten Theile ſich ſenken, ſo müſſen die flüſſigen aufſteigen. Aber die Intervalle, welche jene zwiſchen ſich laſſen, ſind ſehr eng, oft noch kleiner als ihr eigener Durchmeſſer, und die Flüſſigkeit hat alle Hinderniſſe zu überwinden, welche auch in engen Röhren ihre Bewegung ſo ſehr verzögern.

4) Bei einer gleichen Fallkraft wird daher der Abſatz in einer Flüſſigkeit von ſtarker Synaphie ſchneller von Statten gehen; im Waſſer ſchneller als im Weingeiſt und in Salzlöſungen.

5) Die Wärme wird die Präcipitation beträchtlich beſchleunigen.

Man iſt jedoch noch weit davon entfernt, den Einfluß der letzten vier Momente der Quantität nach beſtimmen zu können, und

kann daher noch nicht mit Zuverlässigkeit über das relative Verhalten eines suspendirten Stoffes gegen zwei Flüssigkeiten entscheiden.

§. 244. Es bildet sich also in dem Innern des Gemenges eine sehr große Anzahl von partiellen Strömungen. Die suspendirten Theile senken sich, drücken die unter ihnen befindliche Flüssigkeit mit hinab und zwischen ihnen steigt ein andrer Theil der Flüssigkeit auf. Wenn alle festen Theilchen genau von gleicher Größe und gleich vertheilt wären, so würden diejenigen immer in einer Horizontalebene verharren, welche sich einmal darin befinden. Sind aber die Theilchen von ungleicher Größe, so wird die Stellung der nach unten gehenden Ströme hauptsächlich von den größeren bestimmt. Die in ihren Intervallen aufsteigenden Ströme führen leichtere Theile mit sich fort; aber wenn diese in die Nähe der größeren kommen, so werden sie meistentheils wie von einem Filtrum zurückgehalten werden. Dadurch vergrößern sich die Theilchen und werden dem Auge einzeln sichtbar, wenn sie auch am Anfange der Präcipitation mikroskopisch waren. Es findet sich daher bei allen Niederschlägen der merkwürdige Umstand, daß, sobald die Präcipitation eine kurze Zeit gedauert hat, die Menge der aufgelösten festen Theile nicht allmälig von unten nach oben hin abnimmt; sondern es bildet sich eine ziemlich scharfe Grenzfläche zwischen dem Gemenge, das nach unten hin nur wenig an Dichtigkeit zunimmt, und einer oberen von festen Theilen beinahe freien Schicht.

Diese Grenze sinkt anfangs mit etwas beschleunigter Geschwindigkeit herab, die aber allmälig abnimmt, gleichförmig wird, und zuletzt so langsam wird, daß viele Stunden verfließen, ehe die Senkung merklich zugenommen hat.

§. 245. Die Wärme beschleunigt den Absatz in sehr vielen Fällen, theils aus dem oben angegebenen Grunde, theils weil sie die Vergrößerung der Theile erleichtert. Das letzte nimmt man bei sehr vielen chemischen Präcipitaten wahr, die anfangs selbst mit der Lupe unsichtbar, wenn sie erwärmt werden, sich zu Flocken von merklicher Größe vereinigen. Vielleicht rührt dieses davon her, daß in höheren Temperaturen die flüssige Schicht weniger stark an die festen Theile haftet, und leichter von andren Theilchen verdrängt wird, die sich nun an jene anlegen und durch Adhäsion fest gehalten werden können.

Die Beschleunigung des Absatzes durch Wärme beobachtet man

sehr deutlich bei den Niederschlägen von Kieselerde aus den Kieselerde-Alkalien, bei Zusammenbringen von schwefelsaurem Talk und kohlensauren Alkalien, von Kalium-Eisencyanur und Eisenoxyd. Das kohlensaure Kupfer, welches durch kohlensaures Kali und schwefelsaures Kupfer gebildet wird, geht nach Herschel ganz durch's Filtrum. Erwärmt man aber die Masse, so bildet sich ein Niederschlag. Dasselbe geschieht, wenn man einer neutralen Eisenoxyd-Auflösung das Kali im Ueberschusse zusetzt. Eine gleiche Wirkung der Wärme findet sich nach Berzelius bei dem quellsauren Kupfer, und nach H. Rose bei der Auflösung von wasserfreiem schwefelsaurem Ammoniak, dem man Baryt zusetzt. Ein Gemenge von Porzellanthon und Wasser wird nach Girard in einer höheren Temperatur ebenfalls leichter zersetzt.

Unstreitig ist die Beimengung eines sehr fein zertheilten, selbst durch die gewöhnlichen Filtra gehenden Stoffes oft mit einer Auflösung verwechselt worden, und man glaubte in höherer Temperatur eine kleinere Menge aufgelöst, während es nur ein schon ausgeschiedener, aber noch suspendirter Körper war, der sich niedersenkte.

§. 246. Die Geschwindigkeit des Absatzes in verschiedenen Flüssigkeiten hängt von mehreren Umständen ab, welche in verschiedenen Perioden des Absetzens mit ungleicher Stärke wirken. Bei Girard's Versuchen mit Porzellanthon in Weingeist und Wasser war der Proceß anfangs im Wasser schneller als im Weingeist, wie sich auch in Röhren das Wasser schneller bewegt; in späterer Zeit nimmt er jedoch im Weingeist an Schnelligkeit wieder zu.

Der Zusatz einer Flüssigkeit zu einem Gemenge beschleunigt zuweilen den Absatz, obgleich die Menge der suspendirenden Flüssigkeit vergrößert wird, z. B. wenn man kohlensaures Kali zu dem in einer Auflösung von schwefelsaurem Kali suspendirten kohlensauren Kupfer setzt. Weingeist und Kochsalz beschleunigen den Niederschlag von Eisenoxyd und Kaliumeisencyanur. Eben so wirkt Kochsalz in Kleesäure und salzsaurem Kali. Strontian giebt in concentrirter Barytlösung Niederschläge, die erst spät sichtbar werden; kommt Ammoniak hinzu, so werden sie es sogleich. Auch hier mag nicht selten der Niederschlag eines bisher unsichtbar suspendirten Stoffes für chemische Zersetzung gehalten sein.

§. 247. Einige Körper sind zu solchen Suspensionen sehr geneigt. Es sind dieselben, welche sich nur selten krystallinisch, sondern

als Gallerte von der Consistenz des Wachses bis zu der des Harzes ausscheiden. Ihre Theile sind so klein, daß man sie oft nicht mit dem stärksten Mikroskope einzeln erkennen kann, und ihre Prosaphie an das Flüssige ist wahrscheinlich stark. Dahin gehören Kieselerde und Kieselsalze, Kalk, Strontian, Eisen-, Kobalt- und Nickeloxyde, Schwefelverbindungen; mehrere organische Säuren, wie Kleesäure, Schleimsäure, Quellsäure; die festen Oele, welche mit den flüssigen, in denen sie zum Theil suspendirt, zum Theil aufgelöst sind, unsre natürlichen und wahrscheinlich auch einen Theil unsrer für chemisch rein gehaltenen Oele bilden; mehrere Metalloxyde, die in Oelen suspendirt sind. Viele Metalle verhalten sich ganz auf dieselbe Weise gegen das Queckſilber, von welchen sie sich schon durch Pressen, d. h. ein mit einigem Druck verbundenes Filtriren, größtentheils trennen lassen und also darin nicht aufgelöst sind.

Zuweilen sind beide Gemengtheile flüssig, wie Oel und Wasser, oder Queckſilber und Wasser oder Oel in der grauen Haut, die sich an der Oberfläche von feuchtem Queckſilber bildet. Hier liegen die Ursachen der Dickflüssigkeit und des Fadenziehens am Tage; in den meisten andren Fallen rührt sie von ähnlichen Ursachen her. Das einzige Beispiel von einer wahren Dickflüssigkeit, die man nicht auf Beimengung reduciren kann, bietet der Schwefel in einer gewissen, zwischen seinem Schmelz- und seinem Siedpuncte liegenden Temperatur dar. Oder sollte es auch hier nur ein Gemenge der beiden isomorphen Schwefelarten sein?

§. 248. Die Versuche sind in sehr geringer Anzahl. Die von Girard ausgenommen, auf welche das oben (§. 239.) gesagte ebenfalls seine Anwendung findet, sind es bloß gelegentliche Bemerkungen der Chemiker. Einige Beobachtungen, theils neue, theils Bestätigung älterer, habe ich selbst gemacht.

Girard Mém. de l'Acad. 1819. IV. p. 1—98.

G. Rose Analytische Chemie, dritte Auflage.

J. Herschel Ann. Ch. Ph. 1832. IL. p. 309.

III. Bewegungen, welche mit der Auflösung eines Flüssigen verbunden sind.

§. 249. Wenn zwei Gefäße mit gleichartigen Flüssigkeiten durch einen engen Kanal, der beständig gefüllt bleibt, mit einander zusammenhangen, so ist nur die Zeit, welche zur Erlangung des

Gleichgewichtes nothwendig ist, von dem Dasein und den Dimensionen des Kanales abhängig, aber nicht der endliche Zustand der Flüssigkeit selbst. Zwar kann der Kanal so eng sein und die Reibung so groß, daß die von dem Streben nach dem hydrostatischen Gleichgewicht herrührende Bewegung unmerklich wird; aber wahrscheinlich wird sie von keinem Kanale, so lang und eng er sein mag, gänzlich aufgehoben.

Befinden sich in den beiden Recipienten verschiedene, aber mit einander mischbare Flüssigkeiten, z. B. Wasser und eine Salzlösung: so werden sie ihre Bestandtheile gegen einander austauschen, die Lösung wird in das Wasser, dieses in die Lösung treten; aber der Schwerpunct der einzelnen Theile, wo dieses geschieht, und daher auch der Schwerpuct der ganzen Masse, und die von den hydrostatischen Ursachen abhängigen Bewegungen können dadurch keine Veränderung erleiden.

Wirken aber nicht bloß die Flüssigkeiten auf einander ein, sondern auch die Ränder des Kanals, an welche etwa die eine Flüssigkeit sich lehnt und die andre an sich zieht: so kann es geschehen, daß einer der beiden Bestandtheile sich hauptsächlich oder ausschließlich bewegt, und eine Strömung von einem Recipienten in den andern statt findet. Diese unter Mitwirkung einer festen Wand eintretende Mischung zweier Flüssigkeiten will ich, da sie noch keine passende Benennung hat, Diffusion von Flüssigkeiten nennen, nach der Analogie der in der Einleitung (§. 26.) betrachteten verwandten Erscheinung bei Gasen.

Diffusion.

§. 250. Beide Bewegungen zwischen den mit einander verbundenen Recipienten, welche zur Herstellung des hydrostatischen sowohl, wie des physischen Gleichgewichtes zwischen den getrennten und heterogenen Flüssigkeitsmassen führen, und die am stärksten sind, wenn beide Flüssigkeiten in ein Gefäß gebracht werden, werden um so mehr verzögert, je größer die Länge des Kanals und je kleiner die Summe der Querschnitte ist. Allein die Gesetze der Verzögerung sind in beiden Fällen verschieden. Die hydrostatische Bewegung ist unter zwei Apparaten, wo die Summe der Querschnitte der Kanäle und ihre Länge gleichförmig ist, in demjenigen kleiner, wo die Kanäle enger sind. Die Diffusion dagegen hängt entweder bloß von der Summe der

Querschnitte ab, oder der nachtheilige Einfluß der Verengerung ist doch viel kleiner als bei der hydrostatischen Bewegung. Bei Kanälen von großer Weite überwiegt daher die hydrostatische Bewegung; und obgleich nach mehreren Beobachtungen an Haarröhren schon hier eine von der Diffusion abhängige Entmischung der Flüssigkeiten statt zu finden scheint, so ist doch die Wirkung der Diffusion kaum merklich gegen die hydrostatische. Je enger der Kanal wird, desto kräftiger wird verhältnißmäßig die Diffusion. Durch Spalten im Glase, die eine Flüssigkeit nur mit einiger Gewalt durchströmt, geht die Diffusion schon deutlicher von Statten, sie nimmt zu bei ganz engen Spalten von mikroskopischer Weite und bei den selbst unter dem Mikroskope unsichtbaren Poren in gebranntem Gyps, Schiefer, organischen Membranen, wo die Kanäle sehr eng sind, aber die Summe der Querschnitte sehr beträchtlich ist, nimmt man die Diffusion fast allein wahr. Zwei Flüssigkeitsmassen von gleicher Beschaffenheit, aber ungleicher Höhe, behalten, wenn kein sehr starker Druck statt findet, viele Stunden lang ihre Stellung bei, als wären sie durch eine undurchdringliche Wand geschieden; während heterogene Flüssigkeiten schon nach wenigen Minuten sich auf eine deutliche Weise gemischt haben und dabei ganz ohne Rücksicht auf das hydrostatische Gleichgewicht verfahren, das oft in sehr hohem Grade durch das Eindringen einer Flüssigkeit in die andre gestört wird.

§. 251. Man beobachtet die Diffusion sehr deutlich, wenn man eine Flüssigkeit in eine Röhre bringt, die unten mit einem Glase, das einen sehr schwachen Sprung hat, oder dem Gyps, oder der Membran geschlossen ist, und in ein weites Gefäß gestellt wird, in dem sich die zweite Flüssigkeit befindet. Das Steigen und Fallen der Flüssigkeiten in den Röhren giebt einen Maßstab für die Stärke der aus der Diffusion entspringenden Strömung, die man vergrößern kann, wenn man die Röhre eng nimmt und unten, wo sie mit dem Schiefer oder der Membran geschlossen wird, so sehr als möglich erweitert. Man mißt dabei zwar nur die Differenz der beiden in dem festen Körper sich begegnenden Strömungen und kann die vollständige Veränderung, welche die Diffusion hervorbringt, nur aus einer Analyse der beiden Flüssigkeiten erkennen; aber die eine der beiden Bewegungen ist der andern gewöhnlich so sehr überlegen, daß man sich mit der Beobachtung der Niveau's begnügen kann.

§. 252. Die Quantität des durchgegangenen Stoffes hängt natürlich von den Dimensionen der festen und flüssigen Körper und der Textur des festen ab, aber die Richtung der Bewegung, ob sie den Stand in der Röhre hebt oder senkt, hängt mit sehr wenigen Ausnahmen nur von der Flüssigkeit ab und der feste Körper verhält sich dabei ganz passiv.

Ist in der Röhre eine Salzauflösung, z. B. Kochsalz, Salmiak, salzsaures und schwefelsaures Eisen oder Kupfer, oder Alkohol, Essig, Gummilösung; in dem Gefäße dagegen Wasser oder eine verdünnte Auflösung desselben Stoffes, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre, indem das Wasser eintritt und ein zwar durch die Reagentien erkennbarer, aber immer doch kleiner Theil der Lösung in das Gefäß übergeht. Das Niveau in der Röhre steigt dadurch oft weit über das Niveau im Gefäße. Dasselbe ist der Fall, wenn Lavendel- oder Terpentinöl in der Röhre, in dem Gefäße verdünnter Alkohol ist; oder Lavendelöl in der Röhre, Olivenöl außerhalb ist. Von zwei verschiedenen Salzlösungen, die nicht chemisch auf einander einwirken, nimmt in der Regel das Volumen der concentrirteren zu. Mit einigen untergeordneten Anomalien ist es daher immer die durch Röhren schneller gehende Flüssigkeit (§. 135.) oder die cohärentere, welche leichter durch den porösen Körper geht.

§. 253. Man muß daher, nach einer Bemerkung in Meyen's Phytotomie, die Flüssigkeiten, welche man in die Spiralgefäße der Pflanzen bringen will, sehr concentrirt nehmen, sonst steigt in der ersten Zeit nur Wasser auf. Aehnliches beobachtete Magendie bei Ausspritzungen von thierischen Gefäßen und Göppert in seinen Versuchen über die schädlichen Wirkungen, welche die Absorption gewisser Flüssigkeiten in den Pflanzen hervorbringt. Durch die engen Kanäle und Häute der Pflanzen geht, wie durch jede andre benetzte Röhre, am leichtesten das Wasser und erfrischt die Pflanze, wenn sie nicht genug Feuchtigkeit enthielt. Allmälig finden sich die ätherischen Oele, der Kampher, die Blausäure, die Alkalien, die dem Wasser beigemischt waren, ein und bringen ihre nachtheiligen Wirkungen hervor.

Die organischen Membranen habe ich hier und in der Diffusion der Gase ganz als poröse Körper betrachtet, obgleich das Mikroskop keine Kanäle nachweiset und die meisten Physiologen die

Membranen für ein stetiges Ganze halten, durch welches eine Flüssigkeit nur deßhalb zu dringen scheine, weil sie sich mit ihnen verbinde und auf der andren Seite durch einen Lebensproceß abgeschieden werde, ungefähr wie bei der galvanischen Zersetzung, die an den zwei Polen von einander getrennt auftretenden Bestandtheile des Wassers. Die Physiologen bedienen sich ihrer vitalen Kräfte, wie die Physiker gewöhnlich der Elektricität, um die Grenze ihrer Erklärungsversuche zu bezeichnen. Die Erscheinungen bei den Membranen enthalten nichts räthselhaftes. Sie sind identisch mit denen bei dem Gyps, wo unter dem Mikroskop eben so wenig Kanäle sichtbar sind wie bei den Membranen, obgleich sein Volumen, das dem des wasserhaltigen Gypses gleich ist, und andre Eigenschaften keinen Zweifel an dem Dasein von Poren übrig lassen; auch verhält sich der Gyps ganz wie eine feine Spalte im Glase, wo die Oeffnung augenscheinlich ist. Man kann daher auch bei den organischen Membranen nicht an einer ähnlichen Wirkung zweifeln. Uebrigens sind alle organischen Körper, selbst nach dem Tode, überall mit Kanälen durchzogen, und im Leben, wo die Kanalwände noch kleiner sind, ist die Wirksamkeit der Kanäle noch größer, als im Tode. Die hohe Bedeutung der Diffusion für eine große Menge organischer Processe, für alle Secretionen, verdiente wohl mit mehr Umsicht verfolgt zu werden, als es Dutrochet gethan hat.

§. 254. Die einzige bedeutende Ausnahme von jener Uebereinstimmung zwischen Synaphie und Diffusion findet nach Mitchell bei Kautschukblasen statt, durch welche Aether und Alkohol mit größerer Leichtigkeit gehen als Wasser. Vielleicht verhält sich der harzige Kautschuk zum Wasser wie Glas zum Queckſilber und wird nicht leicht benetzt.

Bei starken Säuren, welche chemisch auf die Membranen einwirken, ist keine Diffusion. Ob sie sich bei Schiefer oder Gyps findet, ist nicht untersucht.

Die Wärme soll nach Dutrochet die Diffusion verstärken. Ob dieses richtig ist, oder nur auf einer Täuschung beruht, weil sie die hydrostatische Bewegung beschleunigt, bleibt dahingestellt.

Der Galvanismus hat dagegen einen sehr entscheidenden Einfluß. Aus den Versuchen von Porret, N. W. Fischer, Wach u. a. scheint hervorzugehen, daß die Diffusion dem positiv elektrischen Strome parallel geht, daß also die Flüssigkeit bei der voltai-

schen Säule am Kupferende steigt; bei einfachen Ketten dagegen, z. B. von Platin und Zink, am Zinkende. Es fehlt jedoch noch viel an der genauen Kenntniß dieser Erscheinungen, welche durch den chemischen Proceß und die eigenthümlichen, durch den Galvanismus vermittelten Bewegungen sehr verwickelt werden.

§. 255. Bei der Diffusion ist daher vornehmlich zu berücksichtigen:

1) daß die beiden Flüssigkeiten eine physische Verbindung eingehen. Die bisher untersuchten Flüssigkeiten waren mit wenigen und nicht ganz zuverlässigen Ausnahmen in jedem Verhältnisse mischbar.

2) Sie sind durch Kanäle verbunden, deren Querschnitte einzeln möglichst eng sind, aber summirt eine beträchtliche Fläche einnehmen.

3) Es findet eine Bewegung statt, welche das hydrostatische Gleichgewicht herzustellen strebt.

4) Zwei andre, einander entgegengesetzte, die das Ganze dem physischen Gleichgewichte nähern.

5) Die hydrostatische Bewegung nimmt mit der Größe der einzelnen Querschnitte rasch ab, die physische dagegen scheint vornehmlich von der Summe der Querschnitte abhängig zu sein.

6) Durch die gewöhnlichen benetzbaren Stoffe dringt die cohärentere der beiden Flüssigkeiten in größerer Menge.

§. 256. Von der Diffusion hat Poisson eine Erklärung gegeben. Die beiden Flüssigkeiten begegnen sich in dem engen Kanal in einer gemeinschaftlichen, gewöhnlich gekrümmten Oberfläche, und diejenige, deren Oberfläche concav ist, drängt die andre in ihr Gefäß zurück und vermehrt dessen Volumen. Wasser also, das vermöge seiner stärkern Synaphie den Salzlösungen gegenüber concav ist, wird in das Gafäß mit der Lösung dringen und deren Volumen vergrößern. Aber hierbei sind drei Umstände unberücksichtigt. Erstlich, warum durch diesen Kanal nicht auch das hydrostatische Gleichgewicht, wenigstens bei stark netzenden Flüssigkeiten, eben so schnell wie das physische hergestellt wird. Zweitens, warum nicht bloß das Wasser in die Lösung, sondern auch die Lösung in das Gefäß mit Wasser übergeht. Daß, wie Poisson meint, in einigen Kanälen eine entgegengesetzte Bewegung statt finde, ist doch eine ziemlich unmotivirte Annahme. Endlich drittens bleibt es unbeantwortet, warum die beiden Flüssigkeiten denn auch mischbar sein

müssen, und warum Wasser und Oel nicht eben so gut wirken, wie Wasser und Weingeist.

Bei der Erklärung, welche ich oben von der Diffusion gegeben habe, ist auf diese Umstände Rücksicht genommen. Indessen bleiben auch bei ihr noch einige Schwierigkeiten unerledigt. Aber den Beobachtungen fehlt bis jetzt jede quantitative Genauigkeit. Die Anzahl der untersuchten Stoffe ist gering und bei dem Conflict mehrerer Kräfte von unbekannten Gesetzen, die ganz entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen, z. B. der Synaphie, welche die Strömung der cohärenteren Flüssigkeiten beschleunigt, und der Prosaphie, welche die Verbreitung der minder cohärenten über die Oberfläche der Röhrenwände erleichtert, ist es unmöglich, auf theoretischem Wege den Erfolg vorherzusagen.

§. 257. Die ersten Versuche über die Diffusion in Papier und Blasenhäuten hat schon Reaumur angestellt. Mém. de l'Acad. 1714. p. 55.

Sie wurden gänzlich vergessen. Erst als man sich der thierischen Blasen bediente, um die durch den Galvanismus zersetzten Stoffe von einander getrennt zu erhalten, entdeckte man von der Diffusion abhängige Erscheinungen.

Wollaston Ph. Mag. 1809. Schweigg. Journ. II. p. 1.

Diese Versuche wurden wiederholt und abgeändert von

Th. v. Grotthuß Gilb. Annal. 1818. LXI. p. 65; Schweigg. Journ. XXVIII. p. 314. Spalten im Glase.

Porret Gilb. Annal. 1820. LXVI. p. 272.

Döbereiner ib. 1821. LXIX. p. 84.

N. W. Fischer ib. 1822. LXXII. p. 300.

Dumenil Kastn. Archiv. 1826. VII. p. 230.

G. Bischoff Schweigg. Journ. 1822. XXXVI. p. 119.

Wach ibid. 1830 LVIII. p. 20. 310.

Göbel ibid. LX. p. 414.

Die wichtigsten und genauesten Arbeiten sind die von Fischer und Wach. Die besten Untersuchungen über die von Galvanismus freie Diffusion verdanken wir ebenfalls

N. W. Fischer Gilb. Annal. 1822. LXXII. p. 300; Pogg. Annal. 1827. X. p. 481 XI. p. 127; Spalten im Glase und Membranen.

Einige Beiträge sind von

Brugnatelli Brugn. Giorn. 1808. p. 110. Gehlen Journ. VI. p. 121.

G. Witting Gilb. Annal. 1823. LXXIV. p. 425.

G. Magnus Pogg. Annal. 1827. X. p. 153.

Mitchell Journ. of Roy. Instit. 101, 307.

Wagemann Schnellessig-Fabrication. Pogg. Annal. 1832. XXIV. p. 600.

Göppert Pogg. Annal. 1828. XIV. p. 243.

Meyen Phytotomie. p. 233.

Magendie Physiologie.

Dutrochet Ann. Ch. Ph. 1827. XXXV. p. 393. XXXVIII. p. 191; 1832. IL. p. 411; LI. p. 159.

Derselbe Nouvelle Theorie sur l'endosmose et l'exosmose 1828. 107. p. 8; Féruss Bullet math. 1828. X. p. 61 und 1829. XI. p. 32.

Poggendorff Pogg. Annal. 1827. XI. p. 138. und 1833. XXVIII. p. 359, giebt Auszüge aus Dutrochets Werken mit theoretischen Zusätzen.

Poisson Ann. Ch. Ph. XXXV. p. 98. und Pogg. Annal. XI. p. 134.

Am meisten Aufsehen hat Dutrochet gemacht, weil er seine Versuche in einer lebendigen Sprache und als große Entdeckungen beschrieb. Er hatte die Diffusion i. J. 1827, als sie in Deutschland längst bekannt war, zuerst bei Pflanzensäften bemerkt, und glaubte darin ein neues Princip der organischen Bewegungen entdeckt zu haben. Er beschrieb es in dem oben genannten Werke als agent immediat du mouvement vital und leitete es von der Elektricität ab. Die Bewegungen der Flüssigkeiten nennt er, die Begriffe von Innen und Außen auf eine seltsame Art verkennend, Endosmose und Exosmose, die er für verschiedene Thätigkeiten hält. Allmälig kam er von dieser irrigen Ansicht zurück. Er fand in Schiefer und andren Steinen dieselben Erscheinungen, wie in organischen Häuten; in Salzlösungen dasselbe, was er bei organischen Flüssigkeiten gesehen hatte, und endlich gelangte man auch in Frankreich, wo die Exosmose bei den Organologen großes Aufsehen erregt hatte, dahin, wo man sich in Deutschland längst befunden hatte,

Vierter Theil.

Elasticität der festen Körper.

§. 1. Bei den festen Körpern tritt die Elasticität in einer weit ausgedehnteren Sphäre auf, als bei den flüssigen. Dort zeigt sie sich im Zustande des Gleichgewichtes nur als Compression, die nach allen Seiten gleich ist. Bei den festen Körpern aber tritt zur Compression noch die Dilatation; beide sind in verschiedenen Theilen desselben Körpers in der Regel ungleich. Gleichförmige Compression ist nur ein Zustand unter unendlichen, deren der Körper im Conflict mit fremden Kräften ist und der gewöhnlich mit einer Veränderung in der Gestalt verbunden sind.

Die Sprache hat viele Ausdrücke für verschiedene Zustände der Cohäsion, aber da der Sprachgebrauch schwankt, müssen wir ihre Bedeutung feststellen.

Gesetzt, daß in einem festen Körper die Dichtigkeit oder die Gestalt durch eine äußere Kraft geändert, ein Stab z. B. durch ein Gewicht nach der Länge gezogen werde. Je größer das Gewicht, desto größer ist auch die Veränderung, und überschreitet sie eine gewisse Grenze nicht, so tritt der Körper bei Entfernung des Gewichts wieder in seine frühere Lage zurück. Bei einer gewissen Veränderung in der Gestalt und Dichtigkeit aber, hört diese vollständige Rückkehr auf; der Körper hat, wenn das Gewicht entfernt ist, und er seine Ruhe wieder erlangt hat, eine von der früheren verschiedene Beschaffenheit angenommen. Für die größte Kraft, welche ein Körper ohne bleibende Aenderung ertragen kann, hat man den Ausdruck Härte, für die größte Veränderung, die er vorübergehend erleiden kann, den Ausdruck Elasticität; denn elastisch ist die technische Bezeichnung derjenigen Körper, welche vorübergehend verändert werden können. Um Mißverständnisse zu vermeiden, werde ich dafür Spannbarkeit gebrauchen. Das Verhältniß einer Kraft zu der vorübergehenden Veränderung heiße Maß der Elasticität oder Spannkraft schlechthin, und wenn es sich mit übrigens gleichen Umständen nach der Größe der Kraft verändert, so verstehen wir unter Spannkraft das Verhältniß, welches bei dem Beginn der Veränderung statt findet.

Jede Kraft, welche die relative Lage der Theile eines festen Körpers zu ändern strebt, setzt seine Elasticität en Thätigkeit. Er wird comprimirt, dilatirt, seine Gestalt verändert, und alles dieses hängt von seiner Spannkraft und seinen Dimensionen ab. Man findet daher für die Spannkraft sehr verschiedene Resultate, je nachdem man diese oder jene Methode anwendet. Allein es ist der Mathematik bereits gelungen, die wichtigsten unter den üblichen Methoden auf einander zu reduciren. Aus denselben Gründen, wie bei der Synaphie der Flüssigen, werde ich jedoch nicht in die Details der mathematischen Analysen eingehen, sondern sie nur benutzen, um aus den einzelnen Beobachtungen die Spannkraft zu berechnen. Dieser ganze Theil ist überhaupt nur als eine Einleitung und ein Commentar zur Tabelle anzusehen. Er zerfällt daher in zwei Abschnitte:

I. Berechnung der Spannkraft.

II. Verhältniß der Spannkraft zur Beschaffenheit der Körper.

I. Berechnung der Spannkraft.

Beobachtungsweise.

§. 2. Wenn ein fester Körper in seiner Gestalt oder seiner Dichtigkeit eine vorübergehende Aenderung erlitten hat, und die fremde Kraft wird dann entfernt, so kehrt er in seinen früheren Zustand zurück; aber wie ein Pendel, das in die Höhe gehoben zurückfällt, nicht ruhig in der verticalen Lage hängen bleibt, sondern oscillirt, so schwingt auch der feste Körper durch seine Elasticität um die Stellung des Gleichgewichtes, und die Dauer der Oscillationen ist ein Maßstab für die Kraft.

Die Methoden, die Spannkraft zu messen, zerfallen daher in zwei Klassen. In der ersten untersucht man die Veränderungen im Körper, während er mit der äußeren Kraft im Gleichgewichte ist; in der zweiten beobachtet man die Dauer der Schwingungen, die er macht, wenn er von der fremden Kraft befreit ist.

§. 3. Von den für die Kenntniß der Spannkraft geeigneten Methoden gehören folgende der ersten Klasse an:

1) Allseitiger Druck. Man bringt den festen Körper, der vollkommen luftfrei und fein zertheilt sein muß, in einen flüssigen und comprimirt diesen auf die oben (Elasticität der Flüssigen §. 2.) angegebene Weise. Sobald man die Compres-

sion der umgebenden Flüssigkeit kennt, kann man auf diese Art die Spannkraft aller festen Körper prüfen, selbst derjenigen, welche man niemals in eine Form bringen kann, die sie zu Versuchen anderer Art tauglich macht. Aber bis jetzt ist sie noch bei keinem einzigen Körper auf eine passende Art angewendet worden. Auch bietet sie, da die festen Körper im Durchschnitte weniger compressibel sind, als die Flüssigkeiten, eine etwas kleinere Genauigkeit dar, als bei Wasser und ähnlichen Stoffen.

2) Dehnen. Ein Stab ist an seinem oberen Ende befestigt, an seinem unteren zieht ein Gewicht. Seine Verlängernng ist seinem Querschnitte proportional. Diese muß daher sehr gleichförmig und genau bekannt sein. Die Verlängerung ist überdieß nur schwach. Während die Längendimension vergrößert wird, werden die Querdimensionen verkürzt.

3) Biegen. Ein Stab ist an einem Ende in horizontaler Lage befestigt und wird an dem andren Ende durch ein Gewicht herabgedrückt; oder er liegt an beiden Enden auf einer Unterlage und wird in der Mitte durch ein Gewicht herabgezogen. Man mißt die Senkung des Endes oder der Mitte. Wenn er an beiden Enden fest ist, so sind seine Theile sämmtlich ausgedehnt. Ist er aber bloß an einem Ende fest, oder liegt er mit beiden Enden frei auf, so sind die Theile an der concaven Seite der Krümmung comprimirt, an der convexen dilatirt; zwischen beiden ist eine Fläche, wo die Theile ihre natürliche Dichtigkeit behalten haben. Dem drückenden Gewichte steht also eine zweifache Kraft im Innern entgegen, das Streben des obern Theiles sich zusammenzuziehen, und des unteren sich auszudehnen. Die Erscheinung ist also complicirt. Sie wird es noch mehr dadurch, daß die Befestigung eines Endes ihre Wirkung noch über den unmittelbar befestigten Theil hinaus erstreckt und die Bestimmung der Länge des Stabes erschwert, und daß, wenn der Stab lose aufliegt, er sich während der Krümmung auf der Unterlage verschiebt.

4) Drehen. Der Stab ist am oberen Ende in verticaler Lage befestigt und wird mittels eines in der Nähe des untern Endes angebrachten Hebels um seine perpendiculäre Achse gedreht. Man mißt den Bogen, um den der Stab durch eine gewisse Kraft gedreht wird. Die Messung kann hier mit einer größeren Genauigkeit vorgenommen werden, als beim Biegen und Dehnen, aber in dem

was die Befestigung und die sehr genaue Messung der Querschnitte betrifft, theilt diese Methode die Unvollkommenheit der andren.

Bei allen diesen Methoden ist das Gewicht leicht zu messen. Schwieriger ist es, die Größe der niemals bedeutenden Veränderungen zu finden, welche das Gewicht hervorbringt und die von kleinen Unregelmäßigkeiten in der Gestalt des untersuchten, gewöhnlich stabförmigen Körpers sehr abhängig sind. Nimmt man das Gewicht zu klein, so ist es auch die Veränderung; nimmt man es zu groß, so kommt man in den Bereich der bleibenden Veränderungen und findet die Spannkraft zu klein. Selbst wenn man ein von dieser Grenze entferntes Gewicht auflegt, so kann die Dauer des Versuches herbeiführen, was man durch die Kleinheit des Gewichtes zu vermeiden suchte. Diese Schwierigkeiten haben mehrere Beobachter nicht berücksichtigt.

§. 4. Genauer als diese auf dem Gleichgewichte beruhenden Beobachtungsweisen sind die der zweiten Klasse, wobei die Spannkraft aus den Schwingungszeiten abgeleitet wird. Sind die Schwingungen langsam, so werden sie gezählt; sind sie schnell, so mißt man sie durch den Ton. Beim Zählen ist wol eine größere Genauigkeit zu erlangen, als durch den Ton; aber weil die Amplitudo der Schwingungen dann ziemlich groß sein muß, so wird der Mangel an einer völligen Isochronie von nachtheiligem Einfluß. Indessen sind diese Methoden denen der ersten Klasse immer vorzuziehen, weil bei einer einzelnen Beobachtung der Fehler viel kleiner ist, und man sie nach Belieben oft wiederholen kann, ohne eine bleibende Veränderung in der Gestalt des Körpers zu befürchten. Die hierher gehörenden, angewendeten Methoden sind folgende:

1) Longitudinale Schwingung. Ein prismatischer Stab wird der Länge nach gebogen, und dann frei gelassen.

2) Transversale Schwingung. Ein an einem Ende befestigter, prismatischer Stab wird etwas gekrümmt, und dann sich selbst überlassen. Der Ton einer Stimmgabel gehört der transversalen Schwingung an.

3) Drehende Schwingung. Der an einem Ende befestigte und um seine Längenachse gedrehte Stab schwingt hin und her.

4) Die Geschwindigkeit des Schalles hängt zwar auch von der Spannkraft ab, kann aber nur in sehr seltenen Fällen unmittelbar gemessen werden.

§. 5. Bei allen diesen Methoden wird vorausgesetzt, daß der Effect der äußeren Kraft proportional ist. Bei dem Dehnen und Biegen ist die ganze Variation zu klein, um einen Unterschied in diesem Verhältnisse zu zeigen. Allein bei Oscillationen fand Lagerhjelm, daß bei größeren Amplituden die Geschwindigkeit kleiner ist. In einem Versuche wurden 20 Oscillationen gemacht bei einer

Amplitudo von	44°	7°	1°8	
in	45,6	44,0	42,4	Secunden.

In einem andren Versuche

Amplitudo von	37°5	5°	0°8	
in	9°,4	86,8	84,0	Secunden,

und so öfter. Bei größeren Amplituden ist daher die Schwingungszeit größer, oder der Effect nimmt in einem schwächern Verhältnisse zu als die Kraft. Daß auch bei einer einfachen Compression der Effect langsamer zunimmt, als die Kraft, ist zwar wahrscheinlich, aber noch nicht erwiesen.

Dieser Mangel an Isochronie ist zwar nicht beträchtlich und kann, wenn man, wie es Lagerhjelm machte, alle Körper nur bei bestimmten Amplituden beobachtet, fast unschädlich gemacht werden. Aber er kann Unterschiede zwischen verschiedenen Methoden hervorbringen. Wenn die Schwingungen nicht gezählt, sondern durch die Tonhöhe gemessen werden, so ist ihre Amplitudo in der Regel sehr klein. Derselbe Stab wird daher, durch den Ton untersucht, eine höhere Spannkraft zu haben scheinen als beim Zählen der Schwingungen. Bei den Methoden der ersten Klasse, wo man einen möglichst großen Effect hervorbringen muß, ist der Einfluß dieses Mangels an Proportionalität zwischen Effect und Kraft noch bedeutender und vielleicht die Ursache, daß sie in der Regel zu kleine Resultate geben, wenn man sie mit den Longitudinalschwingungen vergleicht.

Berechnung der Spannkraft.

§. 6. Die aus diesen verschiedenen Methoden abgeleiteten Resultate hängen alle von einander ab; es ist aber erst in den neuesten Zeiten Poisson, Cauchy, Navier und einigen andren gelungen, sie auf einander zu reduciren. Mit dem Worte Spannkraft sollte man nun einen Charakter bezeichnen, der von der Be-

obachtungsweise und den Dimensionen des Körpers möglichst unabhängig ist. Young, der wie in der Cohärenz der Flüssigen, so auch hier an der Spitze der wissenschaftlichen Forscher steht, führte daher seinen Modulus ein. Dieser beruht auf der longitudinalen Ausdehnung eines Stabes. Seine Länge sei = l, sein Querschnitt = 1, beiden in englichen Zollen, das dehnende Gewicht = Q in englischen Pfunden und die Verlängerung = d, wo d eine Zahl ist, so ist Young's Modulus M = Q : d, unabhängig von der Länge, aber abhängig vom Querschnitte. Young hat noch einen zweiten Modulus N, der so berechnet ist, daß N = M : p ist, wenn p das Gewicht eines 12 Zoll langen und 1 Quadratzoll dicken Stabes ist. N ist also von dem Querschnitte unabhängig. Er verwandelt die Pfunde des ersten Modulus in die Länge eines Stabes von gleichem Stoffe, wie der, dessen Spannkraft bestimmt werden soll.

Der Modulus N ist außerhalb England nicht häufig gebraucht worden. M ist aber allgemein angenommen worden, nur mit dem Unterschiede, daß man an die Stelle der englischen Maße und Gewichte, französische, preußische, österreichische und schwedische Maße, und bald Fuße, bald Linien, bald Pfunde, bald Centner oder Schiffspfunde setzte.

§. 7. Der Modulus von Young ist also von willkürlichen Einheiten abhängig. Ferner bezieht er sich auf die Dehnung, welche eine complicirte Erscheinung ist, indem sie mit Contraction in andren Richtungen und einer Veränderung der Gestalt verbunden ist, und theoretisch sowohl wie praktisch keine wichtigere Rolle spielt als Biegen und Drehen. Ich erlaube mir daher folgenden Modulus an seine Stelle zu setzen.

Es sei r : P die Verkürzung, welche ein Körper, dessen Längendimension = r ist, durch den allseitigen Druck einer Atmosphäre erleidet: so ist P die Spannkraft.

P bezieht sich also auf die einfachste Wirkungsweise fremder Kräfte, ist eine von den Dimensionen des Körpers und den Einheiten von Maß und Gewicht unabhängige Zahl und ist identisch mit dem was man bei den Flüssigkeiten Spannkraft nennt.

Unter specifischer Spannkraft verstehe ich (wie bei der Elasticität der Flüssigen §. 6.) die Größe P : ρ. Sie ist dem Modulus N von Young analog.

§. 8. Ich theile nur die vornehmsten Formeln mit, um aus

der Spannkraft, wie sie hier aufgefaßt ist, die verschiedenen Veränderungen, welche die Körper unter dem Conflict fremder Kräfte erleiden, zu berechnen. Sie sind denen reciprok, mit deren Hülfe ich die Spannkraft aus den Beobachtungen abgeleitet habe.

Als Einheit von Maß und Gewicht nehme ich Millimeter und Milligramm an. Bekanntlich wiegt ein Kubikmillimeter Wasser im Maximum seiner Dichtigkeit = 1 Milligramm. Ueber das Verhältniß der Maße und Gewichte der einzelnen Länder zu den neufranzösischen werde ich am Schlusse des Werkes eine Tabelle geben.

h atmosphärischer Druck auf 1 Millim. = 10313 Milligr.

g Beschleunigung der Schwere = 9808,9 Millim.

l Länge der Stäbe.

r Radius der Kreise.

ab Querschnitt der rectangulären Stäbe.

ld, rd, ad, bd die Vergrößerung von l, r, a und b in Folge der Wirkung fremder Kräfte.

Q die drückenden Gewichte.

Für die zweite Klasse von Beobachtungsarten, wo man die Anzahl der Schwingungen in einer Secunde zählt, oder durch den Ton mißt, sei

n diese Anzahl,

m der vom Schall in einer Secunde zurückgelegte Raum in Millimet.

ϱ das specifische Gewicht.

§. 9. Poisson hat in seinen Gleichungen eine Constante k. Diese ist

$$k = \tfrac{1}{5}\, ghP.$$

$$\text{Log. } k = \text{Log. } P + 7{,}30603.$$

§. 10. Allseitiger Druck auf eine Kugel.

Q ist das auf einen Quadratmillimeter drückende Gewicht.

$$Q : d = hP.$$

$$\text{Log.}\sqrt[3]{(Q : d)} = \text{Log. } P + 4{,}01338.$$

§. 11. Longitudinale Zug

$$Q : d = \tfrac{1}{2}\, Phab.$$

$$\text{Log. } (Q : d) = \text{Log. } P + \text{Log. } ab + 3{,}71235.$$

Bei cylindrischen Stäben

$$\text{Log. } (Q : d) = \text{Log. } P + 2\,\text{Log. } r + 4{,}20930.$$

§. 12. Transversaler Druck.

Auf das Ende eines an einem Ende befeſtigten, an dem andren Ende freien Stabes.

dl die Senkung des freien Endes.

Rectanguläre Stäbe, a die Dicke, b die Breite.

$$Q : d = {}^1/_8\,Pha^3b : l^3.$$

$$\text{Log.}\,(Q : d) = \text{Log.}\,P + 3\,\text{Log.}\,a + \text{Log.}\,b - 2\,\text{Log.}\,l + 3{,}41029.$$

Cylindriſche Stäbe.

$$Q : d = \frac{3\pi}{8} Phr^4 : l^3.$$

$$\text{Log.}\,(Q : d) = \text{Log.}\,P + 4\,\text{Log.}\,r - 2\,\text{Log.}\,l + 4{,}08456.$$

Auf die Mitte eines an beiden Enden frei aufgelegten Stabes.

dl die Senkung der Mitte.

Rectanguläre Stäbe, a die Dicke, b die Breite.

$$\text{Log.}\,(Q : d) = \text{Log.}\,P + 3\,\text{Log.}\,a + \text{Log.}\,b - 2\,\text{Log.}\,l + 4{,}31441.$$

Cylindriſche Stäbe.

$$\text{Log.}\,(Q : d) = \text{Log.}\,P + 4\,\text{Log.}\,r - 2\,\text{Log.}\,l + 5{,}28868.$$

Die Werthe von Q : d ſind für Stäbe von gleichen Dimenſionen, die in der Mitte belaſtet ſind, 16 mal größer, als wenn die Belaſtung an einem Ende iſt.

§. 13. Drehung.

Das Gewicht Q iſt angebracht an einem Hebel, deſſen Länge von der Mitte des Querſchnittes im Stabe an gerechnet, = s iſt.

Der Winkel der Torſion = w Nonageſimalgrade.

Quadratiſche Stäbe, nach Cauchy, die Seite = 2a geſetzt

$$Q : w = \frac{8.\pi.P.h.a^4}{3.5.180\,sl}.$$

$$\text{Log.}\,(Q : w) = \text{Log.}\,P + 4\,\text{Log.}\,a - \text{Log.}\,l - \text{Log.}\,s + 1{,}98225.$$

Rectanguläre Stäbe, 2a die Dicke, 2b die Breite.

$$Q : w = \frac{16\ Pha^3b^3}{3.5.180\,sl}.$$

$$\text{Log.}\,(Q : w) = \text{Log.}\,P + 3\,\text{Log.}\,a + 3\,\text{Log.}\,b - \text{Log.}\,(a^2 + b^2) - \text{Log.}\,l - \text{Log.}\,s + 2{,}28328.$$

Cylindriſche Stäbe nach Poiſſon.

$$Q : w = \frac{\pi^2 Phr^4}{10.180sl}.$$

$$\text{Log.}(\Omega : w) = \text{Log. P} + 4\,\text{Log. r} - \text{Log. l} - \text{Log. s} + 1{,}75240.$$

§. 14. Geschwindigkeit des Schalles.

Bei allseitig gedrückten Körpern.

$$m^2 = \frac{3Phg}{5\varrho}.$$

$$2\,\text{Log. m} = \text{Log. p} - \text{Log.}\varrho \quad 7{,}78315.$$

Bei einem langen Stabe.

$$m^2 = \frac{Phg}{2\varrho}.$$

$$2\,\text{Log. m} = \text{Log. P} - \text{Log.}\varrho + 7{,}70397.$$

§. 15. Longitudinalschwingungen.

Beide Enden frei, oder beide fest.

$$n^2 = \frac{Phg}{2l^2\varrho}.$$

$$2\,\text{Log. n} = \text{Log. P} - 2\,\text{Log. l} - \text{Log.}\varrho + 7{,}70397.$$

Ein Ende frei, eines fest.

$$n^2 = \frac{2Phg}{l^2\varrho}.$$

$$2\,\text{Log. n} = \text{Log. P} - 2\,\text{Log. l} - \text{Log.}\varrho + 8{,}30603.$$

§. 16. Drehende Schwingungen.

Ein Ende fest, das andre frei.

$$n^2 = \frac{2Phg}{(1{,}5811)^2 l^2\varrho}.$$

$$2\,\text{Log. n} = \text{Log. P} - 2\,\text{Log. l} - \text{Log.}\varrho + 7{,}90811.$$

§. 17. Transversale Schwingungen.

Rectanguläre Stäbe; Dicke $= 2a$.

$$n^2 = \frac{u^2 Phga^2}{2l^4\varrho}.$$

$$2\,\text{Log. n} = \text{Log. P} + 2\,\text{Log. a} - 4\,\text{Log. l} - \text{Log.}\varrho + 8{,}94197.$$

Cylindrische Stäbe.

$$n^2 = \frac{v^2 Phgr^2}{2l^4\varrho}.$$

$$2\,\text{Log. n} = \text{Log. P} + 2\,\text{Log. r} - 4\,\text{Log. l} - \text{Log.}\varrho + 8{,}81007.$$

Für rectanguläre Stäbe iſt u = 4,1122.

Für cylindriſche Stäbe iſt v = 3,5608.

§. 18. Zuerſt hat ſich Jak. Bernoulli mit einigen, die Elaſticität der feſten Körper betreffenden Aufgaben mit Erfolg beſchäftigt. Dann haben Taylor, Dan. Bernoulli, D'Alembert, Euler und am ausgezeichnetſten Lagrange die Geſetze des Gleichgewichtes und der Bewegung bei elaſtiſchen Saiten und Lamellen berechnet. Die wichtigſten Arbeiten gehören aber der neueſten Zeit an:

Young in ſeinen Lectures on Natural Philos. 1807, einem für den Phyſiker von Fach ſehr ſchätzbaren Handbuche der Phyſik.

Fourier Mém. de l'Acad. 1826. V. p. 260.

Navier Mém. de l'Acad. 1828. VII. p. 375; Bullet. philom. 1825 Juli und Auguſt; Féruss. Bullet. mathem. 1826. V. p. 303; 1829. XI. p. 243.

Poiſſon Mém. de l'Acad. 1829. VIII. p. 356; die Hauptarbeit über die mathematiſche Behandlung der Elaſticitätslehre. Auszüge und Zuſätze ſtehen Ann. Ch. Ph. 1828. XXXVII. p. 337; XXXVIII. p. 330; 1829. XLII. p. 145; 1830. XLIV. p. 423. Bullet. philom. Cah. XIX. Féruss. Bullet. mathem. c. m. O.

Cauchy Exercices de Mathématiques. III. und IV. in mehren Abhandlungen; Mém. de l'Acad. 1830. IX. p. 116.

Von Poiſſon's und Cauchy's Arbeiten giebt Fechner Schweigg. Journ. 1831. LXIII. p. 362 einen Auszug.

Rudberg in Lagerhjelm's ſpäter anzuführendem Werke, p. 94. Seine Rechnung weicht in der Torſion etwas von Poiſſon's ab.

Sophie Germain Ann. Ch. Ph. 1828. XXXVIII. p. 123.

Pagani Mém. de Bruxelles. IV. p. 195. Féruss. Bullet. mathém. XII. p. 195.

Lamé und Clapeyron's in ruſſiſchen Zeitſchriften und Oſtrogradsky's Arbeiten in den Mém. de Petersbourg. 1830. p. 455 und 1833. p. 339 ſind mir nicht näher bekannt geworden.

Alle dieſe Unterſuchungen gehen von der Vorſtellung aus, daß in einer jeden Linie, bei einer gewiſſen Anordnung der Theile, die innern Kräfte im Gleichgewichte ſeien; bei einer Abweichung von dieſem Normalzuſtande aber die Kräfte poſitiv oder negativ werden. Vor Poiſſon nahm man dabei, für Anhänger der Atomiſtik etwas inconſequent, eine ſtetige Ausfüllung des Raumes an; aber

Poisson überwand die mathematischen Schwierigkeiten, welche man bei der Annahme getrennter Theilchen getroffen hatte, und wenn auch seine allgemeinen Gleichungen sich von denen Navier's u. A. nicht unterschieden, so war doch seine Entwicklung vom Standpuncte der Atomistik aus consequent und wurde auf eine Menge interessanter Fälle ausgedehnt, welche Savart u. A. durch die Erfahrung bestätigten. Auch Cauchy hat viele specielle Aufgaben gelöst, selbst solche, wobei die Spannkraft in verschiedenen Richtungen mit ungleicher Stärke wirkte.

Beobachtungen.

§. 19. Die ersten Versuche über die Spannkraft wurden angestellt nicht sowohl, um ihre Größen für verschiedene Körper zu bestimmen, als um das Gesetz ut actio sic vis, d. h. daß die Wirkung dem dehnenden oder biegenden Gewichte proportional sei, zu beweisen. Sie sind von Hooke und v. Gravesand. Später haben Lambert, Borda und Coulomb bei einigen Körpern die Spannkraft gemessen; allein ihre Versuche sind zu diesem Behufe weder zahlreich noch genau genug. Erst im gegenwärtigen Jahrhunderte wurde man auch auf die Spannkraft, die bei der für die Technik so wichtigen Festigkeit von großem Einflusse ist, aufmerksamer und fing an, sie nach Young's Vorgange zu bestimmen. Doch beschränkte man sich dabei fast ausschließlich auf die technisch wichtigen Körper, Eisen, Messing und Holz. Ueber sie haben wir eine große Menge von Beobachtungen, während man über die andren Körper nur einzelne, fast nur beiläufig gefundene Angaben besitzt.

Hooke Philos. Transact. 1679.

Gravesand Physic. Elementa mathemat. (erste Ausgabe 1719.) 4. Ausg. I. p. 373. Biegen von Saiten und Blechen.

Borda nach einer Notiz in Ann. Ch. Ph. III. p. 164. Dehnen eines Messingstabes.

Lambert Pyrometrie. 1779. p. 236. Einige originelle Versuche über die Töne gespannter Messing- und Stahlsaiten und eines Holzstabes.

Coulomb Mém. de l'Acad. 1784. p. 229. Tension von Stahl- und Messingsaiten und Biegen von Stahlplatten.

Young Lectures giebt auch einige Versuche.

Biot Mém. d'Arcouil. 1808. II. und Gilb. Annal. XXXV. p. 407. Geschwindigkeit des Schalles in Wasserleitungsröhren von Gußeisen.

Beaufoy Ann. of Phil. 1822. N. S. IV. p. 165. Er läßt verschiedene Gewichte von verschiedenen Höhen auf Metallfedern fallen und beobachtet ihre Compression. Die Versuche scheinen gut zu sein. Seine Theorie aber ist verworren. Er hat, wie viele seiner Landsleute, keine richtige Vorstellung von dem Verhältniß der Effecte eines bewegten und eines ruhenden Gewichtes.

§. 20. Die für die quantitative Bestimmung der Spannkraft wichtigsten Beobachtungen sind von Lagerhjelm, der in Verbindung mit andren schwedischen Gelehrten die Aufgabe hatte, über die Vorzüge und Mängel der verschiedenen Bereitungsarten des Eisens, besonders des Schmiedens und Walzens zu entscheiden. Diese Nationalfrage wurde auf Kosten des Staates beantwortet und von den Beobachtern zu wissenschaftlichen Resultaten benutzt. Die Spannkraft wurde in mehr als 170 Stangen Stabeisen, in einer jeden Stange auf mehrfache Weise untersucht, durch Biegen, Drehen, Dehnen und Schwingen, ehe sie zerrissen wurde. Die Resultate habe ich nach drei Rücksichten classificirt, nach der Beobachtungsweise, nach der Bereitungsart und nach der Güte der Stäbe, wie sie sich bei dem Zerreißen ergab. Waren die Bruchstücke stark gekrümmt oder blättrig, so wurde der Stab zur zweiten oder dritten Sorte gezählt. Die Stangen, deren Spannkraft von den mittleren Werthen zu sehr entfernt war, habe ich ganz weggelassen. Es sind die Stäbe No. 3, 17a, 31, 34, 49, 51b, 59. Die Berechnung habe ich nach Poisson's Formeln angestellt, welche bei dem Drehen für den Logarithmus der Spannkraft ein 0,0119 größeres Resultat geben, als Lagerhjelm's Formeln.

Außer diesen ausführlich beschriebenen Versuchen bei dem Stabeisen hat Lagerhjelm die Resultate von einigen mit andren Körpern angestellten Versuchen bekannt gemacht. Obgleich er sein Verfahren nicht angegeben hat, so darf man nach dem Talent, welches die Hauptarbeit zeigt, ihnen unbedingt vertrauen.

Versuche über das Stabeisen, aus dem Schwedischen (nicht ganz vollständig) übersetzt. 1829.

Auszüge daraus in Pogg. Annal. 1828. XIII. p. 404; XVII. p. 348.

§. 21. Savart hat zwei Reihen von Beobachtungen über die Spannkraft angestellt, die eine durch die Methode der Drehung, die andre durch longitudinale und transversale Schwingungen. Auf

die letzte, welche unternommen wurde, um die mathematische Theorie von Poisson zu bestätigen, und diesen Zweck erreicht, ist wahrscheinlich die größte Sorgfalt verwendet worden. Bei der Torsion war es aber Savart's Absicht nur, den Einfluß der Dimensionen auf den Drehungswinkel kennen zu lernen. Er bediente sich dazu in der Regel desselben Stabes, dessen Dimensionen er nach und nach verkürzte. Die Versuche, die einer Folge angehören, stimmen sehr gut mit einander überein; aber bei der Messung der Dimensionen verschiedener Stäbe scheint die Sorgfalt kleiner gewesen zu sein, als in der ersten Reihe. Auch haben sich einige beträchtliche Schreib- und Rechnungsfehler eingeschlichen. Bei dem Glase z. B. ist der Werth einmal genau doppelt so groß, als in einer andren Beobachtung. Von einer ähnlichen Ursache rühren vielleicht die Differenzen her, welche sich zwischen den Drehungs- und Schwingungsbeobachtungen finden. Jene sind sämmtlich zu klein. Um diesen Fehler annähernd zu corrigiren, ging ich vom Kupfer aus, einem einfachen, nicht sehr veränderlichen Körper, der sich in beiden Reihen findet, und addirte die Differenz zu allen aus der Torsion abgeleiteten Resultaten.

Féruss. Bullet. mathem. 1828. IX. p. 27. Dieser Bericht ist vollständiger, als die Mittheilung der Beobachtungen in Poisson's Abhandlung Mém. de l'Acad. 1829. VIII., die überdieses nicht ohne sehr störende Druckfehler ist. Beobachtung der Schwingungen.

Ann. Ch. Ph. 1829. XLI. p. 373. Ueber Drehung.

§. 22. Cladni hat Beobachtungen angestellt über den Ton von schwingenden Stäben von Metall und Holz, und obgleich seine Messungen gewiß nicht genau waren: so bewährt doch die Uebereinstimmung seiner Resultate mit denen von Lagerhjelm und Savart die Güte der Methode. Ich habe sie vollständig aufgenommen.

§. 23. Die Brüder Weber geben (Wellenlehre. 1825. p. 554.) die Töne von zwei longitudinal schwingenden Glasröhren. Sie stimmen jedoch nicht ganz genau mit einander überein.

Ueber Eisen-, Kupfer-, Silber- und Platindraht hat W. Weber (Pogg. Annal. 1830. XX. p. 178) gelegentlich einige Beobachtungen mitgetheilt. Die von mir aus den Daten des Versuches abgeleiteten Spannkräfte stimmen bei den drei ersten Metallen recht gut mit den von Weber berechneten überein. Bei dem Platina-

drahte weichen sie dagegen bedeutend von einander ab. Da dieses vermuthlich nur von einem Schreib- oder Druckfehler herrührt, so habe ich die Resultate von Weber's Rechnung beibehalten und reducirt.

Pogg. Annal. 1828. XIV. p. 174 sind einige Versuche von ihm über die longitudinalen und transversalen Schwingungen von Eisen und Messing.

§. 24. Ueber die kubische Compression von festen Körpern haben Oersted, Colladon und Galy-Cazalat mit ihren Apparaten zur Compression des Wassers Versuche angestellt. Oersted erwähnt bloß, daß Glas und andre feste Körper sich sehr wenig comprimiren lassen, sagt aber nicht, wie viel; obgleich sein Apparat nach den Angaben über die relative Compression des Wassers in niedrigen Temperaturen (Siehe Elasticität der Flüssigen §. 11.) einen sehr hohen Grad von Empfindlichkeit gehabt haben muß.

Colladon findet für Log. P. beim Glase einen etwa 0,16 zu hohen Werth.

Bei Galy-Cazalat ist die allseitige Compression durch den Druck einer Atmosphäre

für Blei 0,18 Milliontel
Glas 2,84
Kupfer 7,09

Nach den übereinstimmenden Beobachtungen Andrer ist die Reihefolge gerade die entgegengesetzte, indem Kupfer noch einmal so viel Kraft verlangt als Glas, und Blei am wenigsten. Vermuthlich brachte Galy-Cazalat den festen Körper in's Wasser, fand dort eine etwas kleinere Contraction als in reinem Wasser und hielt die Differenz wahrscheinlich ohne weiteres für die Contraction des eingetauchten, festen Körpers, ein Verfahren, das ihm für die Körper, welche dem Wasser am nächsten stehen, die kleinste Contraction geben mußte. Da die Volumina, mit denen er operirte, mir nicht bekannt sind, so konnte ich seine falschen Resultate nicht reduciren. Ich führe sie bloß an, weil man einigen Werth auf sie gelegt hat.

§. 25. Die übrigen Beobachtungen beruhen sämmtlich auf Dehnung, Biegung und Drehung.

Bevan hat die Spannkraft mehrerer Körper theils durch Drehung, theils durch Biegung oder Dehnung bestimmt. Seine

Methoden sind zwar nicht so genau angegeben, daß wir über ihren Werth entscheiden können; aber in allen seinen Arbeiten spricht sich Einsicht und praktisches Geschick in so hohem Grade aus, daß wir sie für sehr gut halten müssen.

Phil. Trans. 1826. p. 304. Modulus des Eisens durch Drehung.

Ibid. 1829. p. 127. Holz, Eisen u. a. durch Drehung.

Philos. Magaz. Ann. 1832. XI. p. 241. Holz durch Biegen.

Lond. Edinb. J. of Sc. 1833. II. p. 445; III. p. 20. Gold, Platin, Kupfer, Glockenmetall.

Duleau Ueber den Widerstand oder die Haltbarkeit des geschmiedeten Eisens, Uebersetzung 1825. Seine Angaben über die Elasticität des Stabeisens, wie sie sich aus der Biegung und Dehnung ergeben, weichen so sehr von einander und von denen andrer Beobachter ab und geben ein mit der Dicke so deutlich abnehmendes Resultat, daß ich fürchte, er hat nicht die Beobachtungen unmittelbar, sondern nur die Resultate falscher Rechnungen mitgetheilt. Ich habe daher seine Angaben nicht mit aufgenommen.

Tredgold. Ueber die Stärke des Gußeisens und andrer Metalle, Uebersetzung 1826. Er stellt die Beobachtungen von Banks Rondelet u. A. zusammen und fügt eigene über Eisen und andre Metalle, Holz und Steine hinzu.

Von denjenigen unter seinen Beobachtungen, deren Detail mir zu Gebote stand, habe ich unter Berücksichtigung aller Umstände die besten ausgewählt und dadurch zuweilen Resultate erlangt, die von denen Trodgold's bedeutend abweichen. Andre, die ich nicht mehr zur Hand hatte, habe ich nicht einzeln berechnen können, sondern seine Tabelle auf die meinigen reducirt. Seine Angaben sind meistens etwas zu klein.

Einige seiner Versuche, wo die Elasticität durch Transversaldruck gefunden wurde, stehen

Phil. Magaz. 1819. LIII. p. 173. Ueber Gußeisen.

Ibid. 1820. LVI. p. 290. Steine.

Phil. Transact. 1824. p. 354. Stahl.

Ebbels eine Notiz in Nicholson's Mechanik p. 217 und andren Werken. Gußeisen.

Ch. Dupin Versuche über die Biegsamkeit und Festigkeit von Holzarten i. J. 1811 im Arsenal von Corfu angestellt, Journ. de l'Ecole polyt. 1815. X. Das Original ist mir nicht zugänglich

geweſen, was ich ſehr bedaure, da es über die vermuthlich griechiſchen und albaneſiſchen Holzarten ſonſt keine Verſuche giebt. Ein allzu dürftiger Auszug ſteht in Prechtl's Jahrbuche. 1834. p. 268. Die Stäbe waren über 2 Meter lang und die prismatiſchen von 10, 20, 30 ... Millimeter Seite. Auch in franzöſiſchen Seehäfen hat Dupin Verſuche angeſtellt.

Bei ſeinen Verſuchen über die Cohärenz, die ich unten mittheilen werde, hat Finchan auch einige Beobachtungen über die Elaſticität von Holz gemacht,. Sie würden intereſſant ſein; denn er nahm das Holz grün und trocken und von verſchiedenen Theilen eines Stammes. Aber ſeine Beobachtungen ſind für kleinere Unterſchiede nicht genau genug.

Barlow Biegung von Holzſtäben, die ſeit mehreren Jahren in dem Arſenale von Woolwich lagen.

Phil. Magaz. Ann. 1832. XI. p. 179. 241.

Dingler Polyt. Journ. XLIV. p. 381; 1833. L. p. 129.

F. v. Mitis Baumgartn. Zeitſchr. VI. p. 43. Dehnung von Eiſendraht.

J. v. Mitis ibid. IV. und VI. p. 43. Biegen und Dehnen mehrerer Varietäten von öſterreichiſchem Gußeiſen, Stabeiſen und Stahl.

Eytelwein Statik der feſten Körper, Th. II. Viele ſorgfältige Verſuche über die Biegung von Holz.

Gerſtner Handbuch der Mechanik. 1831. I. p. 262 und 339. Dehnung von Eiſendrähten und Stahlfedern und Biegung von Holz und Eiſen. Ich habe ſie, um von der theoretiſchen Anſicht des Verfaſſers unabhängige Reſultate zu erlangen, aus den Beobachtungen ſelbſt abgeleitet. Sie weichen daher von den gerſtnerſchen ab.

Viele dieſer Verſuche werden, was die Größe der Spannkraft betrifft, für eine allgemeine Ueberſicht, wie ich ſie hier zu geben beabſichtige, durch Savart's und Lagerhjelm's Arbeiten überflüſſig gemacht.

§. 26. Ich gebe im Folgenden zwei Reihen von Tabellen. Die erſte enthält alle Beobachtungen, welche entweder durch ihre Genauigkeit oder durch die Wahl des Stoffes ein wiſſenſchaftliches Intereſſe haben. In der zweiten ſtehen die wahrſcheinlichen Werthe

für die Spannkraft der einzelnen Körper. Die Beobachtungen selbst sind so geordnet, daß die Resultate, die sich aus ihnen ableiten lassen, so anschaulich als möglich werden.

Abkürzungen.

Spkr.	Spannkraft.
Sp. Spk.	Specifische Spannkraft.
Sp. Gw.	Specifisches Gewicht.
Meth.	Beobachtungsweise.
Beob.	Beobachter.
Bg.	Biegen oder Transversaldruck.
Dhn.	Dehnen oder Langitudinalzug.
Dr.	Drehen oder Torsion.
S.Z.	Schwingungszeit.
K.	Kern des Holzes.
M.	Mittlerer Theil des Holzes, zwischen Splint und Kern.
Sp.	Splint des Holzes.

Br.	Barlow	I. M.	Ign. v. Mitis.
Bv.	Bevan	L.	Lagerhjelm.
Ch.	Chladni.	S.	Savart.
Eb.	Ebbels.	T.	Tredgold.
Ey.	Eytelwein.	W.	W. Weber.
F. M.	Ferd. v. Mitis.	Y.	Young.
G.	Gerstner.		

§. 27. Lagerhjelm's Beobachtungen über Stabeisen. Mittleres specifisches Gewicht 7,821.

Engl. ist das beste englische zu Ankertauen benutzte Eisen, öfter gegärbt und gewalzt.

Schw. ist schwedisches Eisen.

		Spkr. Log. P.	Meth.	Anzahl der Stücke.
Engl.	erste Sorte	6,6143	S.Z.	8
	" "	6108	Dr.	8
	" "	5764	Bg.	8
	" "	5778	Dhn.	5
	zweite Sorte	5,6298	S.Z.	4
	" "	6399	Dr.	4
	" "	5391	Bg.	4

	Spkr. Log. P.	Meth.	Anzahl der Stücke.
Schw. gewalzt, gegärbt	6,6179	S.Z.	3
" "	6143	Dr.	3
" "	6275	Bg.	3
" "	6023	Ohn.	3
" ungegärbt	6,6378	S.Z.	20
" "	6310	Dr.	18
" "	5933	Bg.	13
" "	6002	Ohn.	8
Schw. geschmiedet, gegärbt, erste Sorte	6,5552	S.Z.	4
" " "	5543	Dr.	4
" " "	5900	Bg.	4
" " "	5956	Ohn.	2
" zweite Sorte	6,5588	S.Z.	5
" " "	5488	Dr.	5
" " "	5825	Bg.	5
" " "	6000	Ohn.	3
" " ungegärbt erste Sorte	6,6465	S.Z.	2
" " "	6479	Dr.	2
" " "	6082	Bg.	2
" zweite Sorte	6,6058	S.Z.	2
" " "	5883	Dr.	2
" " "	5877	Bg.	2
" dritte Sorte	6,5866	S.Z.	7
" " "	5759	Dr.	7
" " "	6027	Bg.	7
" " "	6110	Ohn.	4
Engl. erste Sorte	6,5948		29
zweite Sorte	6029		12
Schw. gewalzt, gegärbt	6155		12
" ungegärbt	6156		59
geschmiedet, gegärbt, erste Sorte	5738		14
" " zweite "	5728		18
" ungegärbt, erste "	6341		6
" " zweite "	5969		6
" " dritte "	5941		25
Mittlerer Werth des Stabeisens erster Sorte	6,6017		122

§. 28. Spannkraft der Metalle.

Metall.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ.	Meth.	Beob.
Platina	21,0	6,474	5,152	Dhn.	Bv.
		479?	157	„	W.
Gold, rein	19,26	6,202	4,918	„	Bv.
1/12 Zusatz [1])	17,59	218	973	„	„
Silber 1/16 Zusatz	10,50	6,219	5,198	S.Z.	S.
		228	207	„	Ch.
		140	119	Dhn.	W.
Kupfer	8,88	6,397	5,449	S.Z.	S.
		415	466	„	L.
		410	462	„	Ch.
		453	505	Dhn.	W.
		362	413	„	Bv.
Messing	8,45	6,316	5,389	S.Z.	S.
		327	403	„	Ch.
		327	403	Dr.	S.
[2])		084?	160	Bg.	T.
Glockenspeise	8,53	6,223	5,292	Dr.	Bv.
Tamtam	50	360	431	„	S.
Kanonenmetall	18	129	216	Bg.	T.
Zinn, englisch	7,31	5,924	5,060	S.Z.	Ch.
		798	4,934	Bg.	T.
Blei	11,41	5,645	4,587	S.Z.	L.
[3])		4,990	3,935	Bg.	T.
Zink	7,04	6,271	5,123	Bg.	T.
Stabeisen [4]) erste Sorte	7,821	6,614	5,721	S.Z.	L.
„ „		612	718	Dr.	„
„ „		599	706	Bg.	„
„ „		582	688	Dhn.	„

[1]) Englisches Münzgold. Dieses hat 1/12 Zusatz und 22 karatiges Gold nach Brisson das von mir angegebene Gewicht.

[2]) Ein Rechnungsfehler oder ein fehlerhaftes Stück. Vielleicht war eine bleibende Veränderung eingetreten.

[3]) Unstreitig bleibende Veränderung, die bei dem Blei schwer zu vermeiden ist.

[4]) Fast alle Angaben für Stabeisen, Stahl und Gußeisen, sind das Medium mehrerer wenig verschiedener Beobachtungen.

Metall.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ.	Meth.	Beob.
Stabeisen geschmiedet	7,821	587	694	S.Z.	S.
„		643	750	„	Ch.
gewalzt		567	674	Dr.	Bv.
„ [1]		453	660	Bg.	T.
		569	676		
Gittereisen		545	652	„	G.
Radreifeneisen		507	614	„	„
gewalztes		567	674	„	„
gemeines		416	553	Dr.	„
Draht		461	568	Dhn.	„
geschmiedet		576	683	„	I. M.
Stahl Stab	7,80	6,595	5,703	S.Z.	Y.
„		642	750	„	Ch.
quadrat. Draht		586	694	Dr.	S.
Blech		525	633	„	„
Stab		609	717	Bg.	T.
Klavierdraht		519	727	Dhn.	G.
Uhrfeder [2]		459	667	„	„
Stab		766	874	„	I. M.
Gußeisen	7,200	6,305	5,440	Dr.	S.
	161	289	434	„	Bv.
	163	445	590	Bg.	E.
	163	371	516	„	„
	392	399	530	„	T.
	161	236	381	„	G.
[3]	200	305	450	Dhn.	F. M.
		549	694		

§. 29. Spannkraft oxydirter Körper anorganischen Ursprungs.

Stoff.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ.	Meth.	Beob.
Eis	0,90	5,02	5,07	Bg.	Bv.

[1]) Diese beiden Werthe 6,453 und 6,569 sind die Extreme. Der höchste Werth kommt dem von Langerhjelm für das beste englische Eisen gefundenen Werthe nahe. Aber seine Mittelzahlen sind zu niedrig.

[2]) Mitis Angabe für Stahl ist zu hoch. Sie rührt von einer einzelnen Beobachtung her.

[3]) Die Extreme von mehreren Beobachtungen.

Stoff.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ.	Meth.	Beob.
Glas [1]	2,50	6,119	5,721	S.Z.	S.
		148	750	„	Ch.
		143	745	Dr.	S.
Pfeifenthon, gebrannt	2,00	5,670	5,374	S.Z.	Ch.
		760	462		
Bildhauermarmor [2]	2,707	5,704	272	Bg.	T.
Portland-Kalkstein	113	563	238	„	„
Weißer Marmor	683	536	107	„	„
Long-Annet-Sandstein	212	077	4,732	„	„
Schiefer aus Wales [3]	749	6,330	5,891	„	„
Gyps [4]	——	4,832	——	Dr.	S.

§. 30. Spannkraft von Körpern thierischen Ursprunges.

Stoff.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ.	Meth.	Beob.
Fischbein [5]	1,298	5,067	4,954	S.Z.	Ch.
	„	048	935	Dhn.	T.
Ochsenknochen	2,08	5,500	5,182	Bg.	Bv.
Coconfaden [6]	1,00	5,224	5,224	Dhn.	W.

§. 31. Spannkraft von Holz, aus den Longitudinal-Schwingungszeiten abgeleitet.

---

[1]) Von der Elasticität des Glases rührt es her, daß in einem Thermometer mit großer und dünner Glaskugel das Quecksilber niedriger steht in verticaler als in horizontaler Lage. Diese Beobachtung hat nach einer Notiz in Zimmermanns Werke über die Elasticität des Wassers zuerst Servieres 1778 gemacht.

[2]) Die drei besten Beobachtungen von Tredgold gaben 5,712; 5,696; 5,574. (Ph. Mag. LVI.) Ich habe das Medium aus den beiden ersten genommen. Alle Beobachtungen über Steine sind zu wenig zahlreich und der Stoff zu veränderlich, als daß man sie für mehr als eine entfernte Annäherung halten könnte.

[3]) Schiefer hat einen unerwartet hohen Werth. Ich weiß nicht, welche von den vielen Schieferarten Tredgold beobachtet hat, aber er hat sehr übereinstimmende Resultate an mehreren vermuthlich auch geognostisch verwandten Schiefer-Varietäten gefunden.

[4]) Von dem Gyps ist nichts weiter gesagt, als daß er akustisch sehr gleichförmig war. Ich konnte daher das specifische Gewicht nicht angeben.

[5]) Die Uebereinstimmung zwischen den beiden Beobachtungen des Fischbeins ist nur zufällig, und bürgt nicht für die Genauigkeit.

[6]) Nach einer mir während der Correctur zugekommenen Notiz in Götting. Anz. 1835. p. 65. ϱ und P ist weniger genau als P : ϱ.

Die erſten zwei Beobachtungen ausgenommen, die Savart, die erſte mit longitudinaler, die zweite mit transverſaler Schwingung, angeſtellt hat, rühren ſie ſämmtlich von Chladni her. Aber weder er noch Savart haben das ſpecifiſche Gewicht angegeben, und es zu ſuppliren, iſt bei Holz unmöglich. Die ſpecifiſche Spannkraft fällt daher in dieſem § weg.

Baum.	Sp. Spk. Log.P:ϱ.	Beob.
Buche, Fagus silvatica	5,616	S.
„ „ „	588	„
Taxusholz, Taxus baccata	5,366	Ch.
Eiche, Quercus Robur	403	„
Pflaumenbaum, Prunus domestica	„	„
Birnbaum, Pyrus communis	504	„
Rothbuche, Fagus silvatica	bis	
Ahorn, Acer pseudoplatanus	530	„
Ebenholz, Diospyros Ebenum	606	„
Weißbuche, Carpinus Betulus	„	„
Rüſter, Ulmus campestris?	„	„
Erle, Betula Alnus	„	„
Birke, Betula alba	„	„
Mahagoni, Switenia Mahagony	„	„
Kirſchbaum, Prunus Cerasus	653	„
Linde, Tilia Europæa	669	„
Kiefer, Pinus silvestris	719	„
Weide, Salix alba?	719	„
„ mit ſchiefen Faſern	524	„
Tanne, Pinus Picea	765	„
Mittlerer Werth (ohne die ſchieffaſrige Weide)	5,589	Ch.

§. 32. Spannkraft von Holz, Biegen. Tredgold.

Baum.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log.P:ϱ.
Fichte, Pinus silvestris?	0,440	5,339	5,696
Weißtanne, Pinus Picea	471	397	724
Rothtanne, Pinus Abies	559	437	690
Mahagoni, Switenia Mahagony	561	338	589
Rüſter, Ulmus campestris	717	263	407
Eiche, Quercus Abies	832	365	445
Mittlerer Werth	0,597	5,356	5,592

§. 33. Spannkraft von Holz, Biegen, Barlow.

Baum.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spkr. Log. P : ϱ.
Lärche, Pinus Larix	0,510	5,157	5,449
„ „ „	522	088	370
„ „ „	531	4,924	299
„ „ „	556	5,157	412
Rüster, Ulmus compestris? Sp.	532	4,936	210
„ „ „ K.	554	5,065	322
Kiefer aus Neu-England, Pinus canadensis?	553	308	565
Poonbaum	579	362	599
Tanne v. Memel, Pinus silvestris Sp.	590	358	587
„ „ „ „ K.	„	321	550
Birke, Betula alba Sp.	0,630	5,372	5,573
„ Betula lenta K.	648	315	493
„ „ „ Sp.	669	345	520
Rothtanne, Pinus Abies	657	308	490
Pechtanne, Pinus Picea	660	399	579
Norweg. Tanne Sp.	680	313	481
„ „ K.	698	358	514
Buche, Fagus silvatica	696	223	380
Kiefer, englisch, Pinus silvestris	697	031	188
Acacie, Robinia pseudacacia	0,710	5,196	5,345
Esche, Fraxinus excelsior Sp.	702	245	399
„ „ „ K.	727	245	384
„ „ „ „	760	266	385
Kiefer aus Riga	738	131	263
„ „ „	753	258	381
Tiekholz, Tectonia grandis	745	517	645
Eiche von Danzig	756	211	332
beste Sorte, 2 Jahr nach d. Schlage	748	378	504
„ „ 16 „ „ „	756	258	379
Birke, Betula alba K.	792	329	430
Eiche, Quercus Robur langsam gewachsen	0,815	5,055	5,128
„ Quercus nigra von Kanada	872	467	526
Cabacallybaum Kern	892	398	448
„ „ Splint	907	395	437
Eiche, englisch, Quercus Abies? schnell gewachsen	0,903	5,245	5,289
„ „ „ „ „	972	166	178
„ „ „ „ „	970	076	089
„ adriatisch, Quercus Robur?	993	122	125

Baum.		Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spkr. Log. P : ϱ.
Eiche, africanisch?	Splint	0,972	5,466	5,478
	Kern	1,015	436	430
Kubarilholz, Hymenaea Courbaril		0,936	398	427
" " "		972	408	420
Greenheartholz	Kern	0,986	5,468	5,474
"	Splint	1,015	450	444
Guajacum officinale	Splint	029	450	438
" "	Kern	"	459	444
Tunkabohnenh. Dipterix odorata	Kern	036	568	553
" " "	Splint	080	550	517
Mittlere Werthe	0,5 — 0,6	0,557	5,224	5,482
	0,6 — 0,7	667	327	504
	0,7 — 0,8	745	290	418
	0,8 — 1,0	938	424	452
	1,0 — 1,1	1,029	441	478

Die Hölzer, wo Log. P kleiner war, wie 5,3, habe ich aus den Medien fortgelassen. Dennoch sind diese bedeutend kleiner, als bei anderen Beobachtern. Es findet sich daher wahrscheinlich ein constanter Beobachtungsfehler vor. Bei den Gruppen, aus denen ich die Medien nahm, habe ich mich aus leicht zu erkennendem Grunde nicht immer ganz streng an die specifischen Gewichte gehalten. Sie sind durch Linien von einander getrennt. Die mittlern Werthe von P : ϱ weichen nur unregelmäßig und viel weniger von einander ab, als die Werthe von P.

§. 34. Spannkraft von Holz, Biegen, Eytelwein.

Baum.		Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spkr. Log. P : ϱ.
Rothtanne, Pinus Abies	Mitte	0,374	5,246	5,673
Weißtanne, Pinus Picea	"	421	429	805
" " "	"	424	390	763
Kiefer, Pinus silvestris				
Splint, ohne Harz		0,111	5 387	5,743
" " "		554	347	603
	sehr wenig "	567	322	568
Mitte	ohne "	527	401	682
" "	"	565	487	735
"	sehr wenig "	595	315	540
"	ohne "	604	469	688

Baum.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spkr. Log. P : ϱ.
Kiefer, Mitte, sehr wenig Harz	0,606	5,419	5,637
" " ohne "	612	404	617
" " " "	628	331	533
" " viel "	657	354	536
" Kern, ohne "	623	502	708
" " mit "	624	386	591
Mittl. Werth für den Splint der Kiefer.	0,521	5,350	5,638
" " " die Mitte " "	599	398	621
" " " den Kern " "	623	444	649
Erle, Betula Alnus	0,572	5,380	5,623
" " "	636	430	613
Sommereiche, Querc. pedunculata Sp.	0,603	0,461	5,681
" "	616	448	658
" Mitte	618	458	667
" "	620	492	700
" "	685	470	634
" Kern	704	567	719
" "	719	550	693
" "	795	524	624
Mittlerer Werth für den Splint der Sommereiche	0,609	5,454	5,669
die Mitte	641	473	667
den Kern	739	547	679
Steineiche, Quercus Robur, Mitte	0,726	477	5,616
" " "	747	522	659
Rothbuche, Fagus silvatica, "	721	449	591
" " "	762	522	640
Weißbuche, Carpinus Betulus, "	765	357	473
" " "	803	433	527
Mittlerer Werth der Holzarten unter 0,65 Sp. Gew.	0,545	5,394	5,665
über 0,65 " "	0,740	5,469	5,600

Die Versuche an der Kiefer und an der Sommereiche zeigen erstlich eine große Verschiedenheit von Splint, Mitte und Kern nach dem specifischen Gewichte und der Spannkraft. Die Unterschiede betragen beinahe 1/4 des Ganzen. Zweitens daß die specifische Synaphie fast unabhängig von der Lage des Holzstückes im Baume ist.

§. 35. Spannkraft von Holz, Biegen, Gerſtner. Das ſpecifiſche Gewicht iſt nicht angegeben.

Baum.	Spkr. Log. P : ϱ.
Eiche. Die Jahresringe lagen vertical	5,384
" " " horizontal	319
Buche " " vertical	266
" " " horizontal	394
Tanne " " vertical	306
" " "	474
" " "	546
Fichte " "	583
" " "	332
" " "	445
Mittlerer Werth	5,405

Für Eiche und Buche ſind die mittlern Werthe bei einer
verticalen Lage 5,366,
horizontalen Lage 5,286.

Wenn man auf die Lage des Holzes in Verſuchen nicht achtet, ſo kann der Unterſchied 0,08 d. h. 1/5 des Ganzen betragen.

§. 36. Spannkraft von Holz. Drehen. Savart. Das ſpecifiſche Gewicht iſt nicht angegeben.

Baum.	Spkr. Log. P.
Buche. Ein Stab mit rectangulärem Querſchnitt. Es war die breite Seite parallel den Jahresringen	4,831
" dem Radius	721
Eiche	610
"	727
"	797
Mittlerer Werth	4,743
Eine einzelne Beobachtung von Gerſtner an einem cylindriſchen Tannenſtab, deſſen Achſe der Achſe des Baumes parallel war	4,607

§. 37. Spannkraft von Holz. Drehen. Bevan.

Baum.	Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ
Pappel, Populus nigra?	0,333	4,287	1,765
Tanne von Norwegen	380	360	780
Vogelbeerbaum, Sorbus Aucuparia	419	451	802

Baum.	Spec. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ
Erle, Betula Alnus	0,550	4,520	4,780
Wallnußbaum, Iuglans regia	572	607	850
Lärche, Pinus Larix	580	589	826
Eiche von Danzig	586	528	760
Platane, Platanus occidentalis	590	556	785
Roßkastanie, Aesculus Hippocastanum	0,615	4,657	4,868
Sumpfeiche, Quercus palustris	670	472	646
Linde, Tilia Europaea	675	573	744
Eiche von Hamburg	693	390	549
Kirschbaum, Prunus Cerasus	0,710	4,669	4,818
Birnbaum, Pyrus communis	720	568	711
Apfelbaum, Pyrus Malus	726	620	759
Ahorn (Maple), Acer pseudoplatanus	735	700	814
Holunderbaum, Sambucus nigra	755	659	781
Holzapfelbaum, Pyrus Malus silvestr.	763	667	784
Acacie, Robinia pseudacacia	795	761	861
Haselbaum, Corylus Avellana	830	731	812
Hagebuche, Carpinus Betulus	860	732	796
Buchsbaum, Buxus sempervirens	0,990	4,788	4,792
Lanzenholz	1,010	712	703
Ferolebolz, (Sattin-Wood)	020	780	771
Brasilienholz, Caesalp. brasiliensis	050	888	863
Mittlere Werthe, Sp. Gew. unter 0,5	0,387	4,367	4,782
„ „ „ 0,5 — 0,7	615	544	756
„ „ „ 0,7 — 0,9	766	624	793
„ „ „ über 0,9	1,017	792	782
	0,696	4,582	4,778

Hier zeigt sich deutlich, wie sehr P von ϱ abhängig ist. Die specifische Spannkraft ist bis auf eine unbedeutende Differenz constant.

§. 38. Mittlere Werthe sämmtlicher Beobachtungen über Holz.

Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ	Meth.	Beob.
—	—	5,589	S. Z.	Ch.
0,597	5,356	592	Bg.	T.
557	224	482	„	Ba.
667	327	504	„	„
745	290	418	„	„
938	421	452	„	„

Sp. Gew. ϱ.	Spkr. Log. P.	Sp. Spk. Log. P : ϱ	Meth.	Beob.
1,029	5,441	5,478	Bg.	Ba.
0,545	394	665	"	E.
740	469	600	"	
—	4,743		Dreh.	S.
0,387	367	4,782	"	Bv.
615	544	756	"	
766	621	793	"	
1,017	792	782	"	

Schwingungszeit	5,589
Biegen	5,524
Drehen	4,778

Barlow's Werthe sind viel kleiner als Eytelwein's, welche von denen Tredgold's nicht sehr verschieden sind. Nimmt man die letzten als richtig an, so geben die Longitudinalschwingungen und die Biegungen beinahe gleiche, die Drehungen aber um 0,081 kleinere Resultate, d. h. nur etwa 0,155 so große.

Den trivialen Namen, welche die Beobachter geben, habe ich die systematischen hinzugefügt. Da aber verschiedene Species oft unter einem Namen in den Handel kommen und einige asiatische und amerikanische Bauhölzer noch gar nicht systematisch bestimmt sind, so konnte jede Unsicherheit und hin und wieder auch wol ein Mißgriff nicht vermieden werden.

Ueber die dritte Decimale in der Berechnung hinauszugehen, ist unnöthig. 0,001 in Log. P ist etwa 1/400 des Ganzen und die Beobachtungen sind selten auf 0,02 genau. Wo zwischen meinen Werthen und den von den Beobachtern selbst berechneten ein Unterschied statt findet, glaube ich für die meinigen ein höheres Vertrauen in Anspruch nehmen zu können. Jedoch schmeichle ich mir nicht, sie von kleinen Rechnungsfehlern ganz frei erhalten zu haben. Einige unbeträchtliche Differenzen zwischen den Resultaten rühren theils von dem specifischen Gewichte her, das die Beobachter versäumt haben, anzugeben, und ich nach Wahrscheinlichkeit suppliren mußte, theils von der Art die Medien zu berechnen.

Bei der Auswahl und der Anordnung der Versuche und der Berechnung der Medien habe ich stets die Resultate in's Licht zu stellen gesucht, welche sich aus einer Versuchsreihe ablei-

ten ließen. Daß ich hierbei durchaus keiner vorgefaßten Meinung gefolgt bin, davon wird sich jeder überzeugen, der sich die Mühe geben will, mir nachzurechnen. Man darf daher die von mir angegebenen Resultate für zuverlässig halten.

II. Verhältniß der Spannkraft zu der Beschaffenheit der Körper.

§. 39. Den größten Theil der Tabelle nehmen die technisch wichtigsten Körper, Eisen und Holz, ein: Eisen in allen seinen Varietäten, von dem chemisch beinahe reinen Stabeisen an bis zu dem mehr oder weniger Kohle haltenden Stahle und Gußeisen; Holz, das man physikalisch ebenfalls als Species ansehen kann, die eine unendliche Menge von Varietäten enthält, nicht nur in verschiedenen botanischen Gattungen, sondern innerhalb einer Species. Ja die Stücke aus einem Individuum, die nur im Alter und in der Lage am Baume verschieden sind, weichen zuweilen eben so sehr von einander ab, als die Mittelwerthe verschiedener Genera. Holz und Eisen sind die Repräsentanten zweier Klassen, der Körper mit einem natürlichen, fast regelmäßigen Unterschiede im Gefüge, und derjenigen, wo das Gefüge auf eine unregelmäßige Weise durch die Bereitungsart bestimmt wird. Ich werde von dem Gefüge der Körper bei der Cohärenz ausführlicher handeln und stütze mich hier nur auf die jedem Leser bekannten Erfahrungen.

Spannkraft von Körpern mit blättrigem und faserigem Gefüge.

§. 40. Die Beobachtungen an Holz, so zahlreich sie sind, geben uns noch kein treues Bild von seiner Elasticität. Man wählte zu den Versuchen in der Regel die besten Holzstücke aus, die durch langes Liegen getrocknet, die frei von Aesten und deren Fasern gerade waren. Aber harzhaltiges Holz, und wahrscheinlich auch das wasserhaltige, haben nach einigen Versuchen eine kleinere Spannkraft, d. h. sie biegen sich unter gleichem Drucke stärker, als trocknes Holz. Unsre Tabelle giebt daher nur die höchsten Werthe für das Holz, und man muß sich hüten, daraus die Spannkraft eines Stammes abzuleiten, wo sich neben besseren Theilen auch feuchte, morsche, neben parallelfasrigen auch Stücke mit gewundenen Fasern befinden. Mehr Aufschluß können wir aus der Tabelle über den Einfluß der Dichtigkeit erlangen. Die einzelne trockene Holzfaser ist in verschie-

denen Holzſtücken dem Anſcheine nach nicht ſehr verſchieden. Aber ſie iſt durch mehr oder weniger große Zwiſchenräume von den übrigen getrennt, und mit der Abnahme derſelben nimmt die Dichtigkeit und zugleich die Elaſticität beträchtlich zu.

In dem Kerne, wenn er noch ganz geſund iſt, iſt die Dichtigkeit des Baumes am größten. In dem jüngern Splintholze und in den Aeſten, wenn ſie trocken geworden ſind, iſt ſie am kleinſten; auch hat das Kernholz die größte, das Splintholz die kleinſte Spannkraft im Baume. Zwiſchen beiden ſteht an Dichtigkeit und Spannkraft das Mittelholz zwiſchen Kern und Splint. (Siehe §. 33, 34.)

Die verſchiedenen Holzarten haben in ihrer Spannkraft einen mit der Dichtigkeit ſo regelmäßig fortſchreitenden Gang, daß ich es vorgezogen habe, ſie nach ihrem ſpecifiſchen Gewichte, ſtatt nach ihrer botaniſchen Verwandtſchaft zu ordnen. So ſehr verſchieden auch die Werthe von P ſind, ſo zeigt ſich in der ſpecifiſchen Spannkraft $P : \rho$ keine Relation zu dem ſpecifiſchen Gewichte, und wenn man von einigen ganz ſchlechten Varietäten abſieht, ſo ſcheint die ſpecifiſche Spannkraft für alle Holzarten beinahe conſtant zu ſein. (Siehe §§. 33. 34. 37.)

§. 41. Theoretiſch wichtiger als die Unterſchiede der Spannkraft in verſchiedenen Stücken ſind ihre Unterſchiede in verſchiedenen Richtungen deſſelben Stückes. Das Holz iſt ein Aggregat von Faſern, die nach der Abſorption des Waſſers zu ſchließen (Cohärenz der Flüſſigen. §. 159.) ein ſpecifiſches Gewicht haben, das nicht unter 2,0 iſt. Die Theile einer Faſer hängen mit einer gewiſſen von ihrem Querſchnitte abhängigen Kraft an einander, aber benachbarte Faſern ſind mit verhältnißmäßig ſo ſchwachen Querfaſern verbunden, daß die Kraft, mit der ein Holzſtück der Trennung verſchiedener Faſern widerſteht, weit kleiner iſt als die, welche die Theile einer Faſer zuſammenhält. Aus dieſem Grunde dehnten ſich auch ähnlich gebildete Körper durch abſorbirtes Waſſer ſtärker aus in der auf die Faſern ſenkrechten, als in der ihnen parallelen Richtung.

Die einzige Meſſung der nach verſchiedenen Richtungen ungleichen Spannkraft im Holze hat Savart in folgendem einfachen Verſuche gegeben. Er ſchnitt aus einem Stücke Buchenholz drei Stäbe von quadratiſchem Querſchnitte und ließ ſie transverſal

schwingen. War der Querschnitt nur klein gegen die Länge, so blieb es gleichgültig, welcher Lage im Baume der Radius der Krümmung parallel war. Aber die Töne waren sehr verschieden, je nachdem der Stab der Achse des Baumes, den Jahresringen oder einem Durchmesser parallel war. Sie verhielten sich in diesen drei Stellungen wie

$$4 : \tfrac{3}{2} : 1$$

also die Werthe von Log. P wie

$$1{,}204 : 0{,}352 : 0;$$

die größten Unterschiede verhielten sich also wie 1 : 16.

Aehnliche, obgleich zur quantitativen Bestimmung der Spannkraft nicht geeignete Resultate gehen aus andren Versuchen hervor. Nach Gerstner ergiebt sich bei dem Biegen eines den Fasern parallel geschnittenen Holzstabes eine größere Spannkraft, wenn in dem Querschnitte der Radius der Krümmung den Jahresringen parallel war, als wenn er senkrecht darauf stand. In den Klangfiguren und Tönen von Platten, die in verschiedenen Richtungen aus einem Holzblocke geschnitten waren, fand Savart die großen Unterschiede der Spannkräfte bestätigt. (Siehe Krystallisation, Elasticität.) Die aus der Dehnung eines breit-rectangulären, den Holzfasern parallelen Stabes abgeleiteten Spannkräfte sind größer, wenn die breite Seite den Jahresringen parallel war, als wenn es die schmale Seite war. (Siehe §. 35.)

§. 42. Diese großen Variationen in den Spannkräften nach verschiedenen Richtungen reichen hin, um alle Anomalien, die man bei den Beobachtungen gefunden hat, zu erklären. Wenn die Fasern bei den transversal oder longitudinal schwingenden Stäben gekrümmt oder von einem Ast durchschnitten sind, so beobachtet man nicht mehr bloß die Spannkraft nach den Längenfasern, sondern z. Th. auch die zwischen verschiedenen Fasern wirkenden Kräfte, und findet daher ein kleineres Resultat, als bei ganz parallelfasrigen Stäben. Dieses beobachtete auch Chladni bei der Weide (oben §. 31.).

§. 43. Die verschiedenen Methoden die Spannkraft zu finden, setzen die im Innern des Holzes wirkenden Kräfte auf ungleiche Weise in Thätigkeit, und hierüber giebt unsre Tabelle wichtige Aufschlüsse. Aus allen Unregelmäßigkeiten der einzelnen Beobachtungen leuchtet nämlich ein großer Unterschied zwischen den Spann-

kräften hervor, je nach der Art der Beobachtung. Bei dem Dehnen verurſacht ein Aggregat von Faſern, die gar nicht mit einander verbunden ſind, faſt dieſelbe Wirkung wie eine ſolide Maſſe von gleichem Querſchnitte. Der den Faſern parallel geſchnittene Holzſtab hat alſo beinahe die Spannkraft einer Holzmaſſe, wo die Faſern transverſal eben ſo innig zuſammenhangen, wie longitudinal. Auch bei transverſalem Drucke findet dem Anſcheine nach daſſelbe ſtatt, und eben ſo überall, wo die einzelnen Faſern durch die fremde Kraft an einander gedrückt werden. Ganz anders verhalten ſich aber Kräfte, welche die Faſern von einander zu trennen ſtreben. Hier verlängern ſich die kleinen Querfaſern und widerſtehen dabei mit weit geringeren Kräften, als wo die Faſern an einander gedrückt, ſich faſt bis zur Berührung nahe kommen. Die Spannkräfte des Holzes aus Schwingungen der Länge und der Quere nach, oder aus Transverſalbiegungen abgeleitet, haben daher beinahe gleiche Werthe, die viel größer ſind, als die aus der Torſion abgeleiteten. Der Unterſchied beträgt im Logarithmus etwa 0,8. Die Spannkraft durch Torſion iſt alſo nur $^1/_6$—$^1/_7$, ſo groß als die durch Biegen. Ueber die Spannkraft durch Dehnen liegen mir keine genauen Verſuche vor; unſtreitig würden ſie den größern Werth geben.

Die mathematiſche Entwickelung iſt jedoch noch nicht weit genug gediehen, um aus dieſen Reſultaten die Größe der nach den Richtungen verſchiedenen Spannkräfte zu berechnen.

§. 44. Größer noch als bei dem Holze ſind die Variationen der Spannkräfte nach verſchiedenen Richtungen bei Körpern von ganz regelmäßigem, aber nach den Richtungen ungleichem Gefüge, d. h. bei den Kryſtallen. Aber von Kryſtallen enthält unſre Tabelle kein Beiſpiel. Einige Verſuche Savart's (Siehe Kryſtalliſation, Elaſticität) über die Schwingungsweiſe der Kryſtallſcheiben zeigen zwar den großen Unterſchied der Kräfte; ſie ſind aber nicht geeignet, ihre abſoluten Werthe zu geben.

Andre faſrige Körper als Holz, wie die organiſchen: Fiſchbein oder Faſern und Seile von Hanf, Flachs, Seide; oder die anorganiſchen, wie Amianth, blättrige Geſteine, ſind entweder gar nicht oder nur in einer Richtung unterſucht; aber unſtreitig würde man auch bei ihnen eine nach den Richtungen verſchiedene Spannkraft finden.

Spannkraft bearbeiteter Stoffe.

§. 45. Bei den festen Körpern, die ihre Gestalt einer Erstarrung aus dem flüssigen oder gallertartigen Zustande oder dem Hammer verdanken, können sich nach verschiedenen Richtungen keine constanten Unterschiede des Gefüges ausbilden, also auch in der Spannkraft nicht die großen Variationen entwicklen, welche sich bei den faſrigen und ähnlichen Körpern vorfinden. Wenn man sie jedoch zu Scheiben formt, so beobachtet man auch bei ihnen eine Verschiedenheit in der Tonhöhe und in den Klangfiguren. Sie hängen von zwei Ursachen ab, welche zwar dieselbe Wirkung hervorbringen, aber in ihrem Wesen sehr verschieden sind, die eine ist die Tendenz zur Krystallisation, die andre besteht in den Veränderungen, welche durch die Bearbeitungsweise hervorgebracht werden.

Leicht schmelzbare, langsam erstarrende Stoffe, wie Schwefel, Zinn, Blei, Zink, zeigen größere Verschiedenheiten als Eisen, Kupfer, Silber. Sie gehen in dem Tone oft auf die Quinte, also in der Spannkraft mindestens auf das Doppelte. Legirungen oder Gemenge dagegen, z. B. Glas, Messing oder Glockenmetall, wo die Krystalle sich weniger regelmäßig lagern können, als in chemisch einfachen Stoffen, haben kleinere Unterschiede und zuweilen, wo das Gefüge zwar sehr ungleichförmig ist, aber die Abweichungen nicht regelmäßig vertheilt sind, konnte Savart gar keinen Unterschied wahrnehmen, z. B. in dem Siegellack und dem Gyps, obgleich jenes ein ziemlich grobes Gemenge von Harzen und Farbstoffen, dieses ein sehr poröser Körper ist.

§. 46. Das Walzen und das Schmieden können die Spannkraft etwas modificiren. Auch zeigen Lagerhjelms Beobachtungen, wo viele Stäbe auf verschiedenartige Weise untersucht wurden, einige Spuren davon. Das Drehen und das Schwingen, welches bei ihm ebenfalls von einer Torsion herrührte, gaben fast überall dieselben Werthe für die Spannkraft. Biegen und Dehnen waren in der Regel auch wenig von einander verschieden; aber die letzten unterscheiden sich gewöhnlich beträchtlich von den ersten. Bei dem gewalzten Eisen waren sie um 0,03 — 0,04 im Logarithmus kleiner; bei dem geschmiedeten und gegärbten eben so viel größer. Durch Walzen wird die Spannkraft besonders bei der Dehnung vermindert.

Im Ganzen ſind die Unterſchiede jedoch ſchwach gegen die bei Holz und Kryſtallen beobachteten, und die Differenzen unter den einzelnen Angaben ſind zu groß, als daß man mit Zuverſicht auf die Unterſchiede, welche die Bereitungsart bei verſchiedenen Methoden hervorbringt, rechnen dürfte.

§. 47. Die Temperatur bei der Bearbeitung, welche bei den meiſten Cohärenzerſcheinungen der Metalle eine große Rolle ſpielt, iſt für die Spannkraft nur von ſehr untergeordneter Bedeutung. Coulomb (Mém. de l'Acad. 1734. p. 265.) findet in angelaſſenen Drähten und Platten dieſelbe Elaſticität, wie in gehärteten. Chladni hörte in Stäben von hartem Stahl und weichem Eiſen denſelben Ton. Aehnliche Beobachtungen haben Young, Tredgold u. a. gemacht. Bei den Verſuchen von Gerſtner behielt ein anfangs ganz weicher Draht ſeine Spannkraft bei, bis er durch die Verlängerung ſelbſt gehärtet, ſo ſpröde geworden war, daß er riß. Indeſſen ſchließen dieſe Angaben das Daſein kleinerer Unterſchiede nicht aus; in einigen Fällen ſcheinen ſie ſogar conſtant zu ſein. Nach Cagniard de la Tour (Pogg. Annal. 1833. XXVIII. 239 ſteht eine ganz kurze Notiz,) hat ein gehärteter Stahlſtab ſowohl bei longitudinalem Schwingen als bei den Stimmgabeln, alſo transverſal, einen etwas tieferen Ton, als nicht gehärteter. So auch das Eiſen, wo jedoch der Unterſchied etwas kleiner ſein ſoll.

Nach Savart iſt bei einfachen Metallen zwar kein merklicher Unterſchied zwiſchen gehärteten und nicht gehärteten Stäben, aber bei Legirungen iſt der Ton und die Spannkraft etwas niedriger, alſo übereinſtimmend mit Cagniard. Setzt man die Spannkraft des langſam gekühlten $= 1$; ſo iſt der Logarithmus bei dem ſchnell gekühlten kleiner

im Gußſtahl um	0,061
" Gußeiſen	097
" Tamtam	103
" Meſſing	068

(Siehe die Tabelle §. 28.)

Sogar kleine Beimengungen haben keinen bemerklichen Einfluß auf die Größe der Spannkraft. Der Stahl und das Eiſen, ſo verſchieden in ihren übrigen Eigenſchaften, haben für ihre Spannkraft denſelben Werth. Gußeiſen hat freilich eine weit geringere Spannkraft. Es iſt aber auch kein bloßes Gemenge von Kohle oder Koh-

leneisen und reinem Eisen, sondern eine chemische, freilich gewöhnlich mit Kohle oder Eisen gemengte Verbindung von Kohle und Eisen.

Man kann daher die Spannkraft ansehen als eine Eigenschaft, die den Körpertheilen als solchen zukommt, unabhängig von dem Zustande, in welchen man sie durch die Bearbeitung versetzt hat, als einen Charakter der Species, welcher verschiedene Körper ohne Uebergänge von einander trennt, während die Cohärenz, die in verschiedenen Körpern stetige Variationen erleidet, als Charakter der Varietät anzusehen ist.

§. 48. Der Einfluß der Temperatur auf die Spannkraft ist schwer zu bestimmen, denn man müßte einen Stab von nicht ganz kleiner Ausdehnung in einer gleichförmigen, höhern Temperatur erhalten. Tredgold erhitzte einmal einen Stab auf 100° C. und bog ihn dadurch um 3,75 Millim. Auf 15° abgekühlt, war er nur um 3,50 Millim. gebogen, also $^1/_{15}$ des Ganzen weniger. Die Spannkraft war also in der höhern Temperatur um so viel kleiner gewesen. Nach einer Bemerkung von Gough (N. Gehl. Journ. IX. p. 247) soll ein Riemen Kautschuk, der durch ein Gewicht gespannt ist, sich durch Erwärmung zusammenziehen, also an Spannkraft gewinnen. Dieses ist nicht wahrscheinlich. Vermuthlich wird in höherer Temperatnr die Spannkraft der festen Körper wie die der Flüssigen etwas vermindert.

Vergleichung der Spannkräfte verschiedener Körper.

§. 49. Ich gebe nun einen Auszug aus der Tabelle der §§. 28–38. für die wahrscheinlichen Spannkräfte der einzelnen Körper. Ich habe, um diese zu finden, nicht die arithmetischen Mittel genommen. Dieses darf nur da geschehen, wo man keine Ursache hat, bei den Beobachtungen einen verschiedenen Grad von Genauigkeit vorauszusetzen, und wo die Fehler in Plus und Minus gleich wahrscheinlich sind. Beides ist aber bei den Angaben der Tabelle nicht der Fall. Die Beobachtungen sind von sehr verschiedenem Werthe und die Spannkraft kann viel leichter zu klein als zu groß gefunden werden. Man wird nicht leicht eine vorübergehende Aenderung für bleibend halten; aber man hat oft den entgegengesetzten Fehler begangen. Die Stangen waren ferner nicht immer genau prismatisch; in der Berechnung wurde aber immer der mittlere Um-

fang aufgenommen. Nun ist es leicht zu erweisen, daß von zwei Stangen, die denselben mittlern Umfang haben, die genau prismatische den biegenden und dehnenden Kräften einen größeren Widerstand entgegensetzt, als die andre. Man wird daher in der Regel eine zu kleine Spannkraft finden, und man muß aus den Beobachtungen entweder die höhern Werthe heraussuchen, oder diesen eine größere Wahrscheinlichkeit einräumen. Freilich bleibt hier manches willkürlich; aber die größte Willkür wäre die arithmetische Mitte.

§. 50. Spannkraft der festen Körper.

Stoff.	Spec. Gew. ϱ.	Spannkraft. Log. P.	Spec. Spkr. Log. P : ϱ.
Platina	21,00	6,474	5,152
Gold	19,26	202	4,918
„ und 1/12 Zusatz	17,59	218	973
Silber	10,50	219	5,198
Kupfer	8,88	406	458
Messing	8,45	316	389
Glockenspeise	8,53	223	292
Tamtam	8,50	360	431
Kanonenmetall	8,18	129	216
Zinn, englisch	7,31	5,924	060
Blei	11,41	645	4,587
Zink	7,04	6,271	5,423
Eisen oder Stahl	7,82	602	709
Gußeisen	7,16	343	488
Eis	0,90	5,020	070
Glas	2,50	6,119	721
Thon, gebrannt	2,00	5,720	418
Bildhauermarmor	2,71	704	272
Portland-Kalkstein	2,11	563	238
Long-Annet-Sandstein	2,21	077	4,732
Schiefer aus Wales	2,75	6,330	5,891
Gyps	—	4,832	—
Fischbein	1,30	5,067	4,954
Ochsenknochen	2,08	500	5,182
Coconfaden	1,00	221	224
Holz, Schwingen	0,65	6,403	5,589
„ Biegen	„	5,338	524
„ Drehen	„	4,592	4,778

§. 51. In der folgenden Tabelle sind die Körper nach ihrer Spannkraft geordnet. Um Wiederholungen zu vermeiden, gebe

ich hier und im §. 54 statt der Logarithmen die Zahlen. Beim Eisen z. B. wird die Längendimension durch den Druck einer Atmosphäre um 1/4 Milliontel verkürzt oder ein Stab um 2/4 Milliontel verlängert.

Stoff.	P.	Stoff.	P.
Eisen	4000000	Thon, gebraunt	525000
Platina	2980000	Bildhauermarmor	506000
Kupfer	2550000	Blei	442000
Tamtam	2290000	Portland-Kalkstein	366000
Gußeisen	2210000	Ochsenknochen	317000
Schiefer	2140000	Holz, Schwingen	253000
Messing	2070000	„ Biegen	218000
Zink	1860000	Coconfaden	167000
Glockenspeise	1670000	Long-Annet-Sandstein	119000
Silber	1660000	Fischbein	117000
Gold	1590000	Eis	105000
Kanonenmetall	1350000	Gyps	69900
Glas	1320000	Holz, Drehen	39100
Zinn	839000		

§. 52. Die größten Unterschiede in der Spannkraft sind also, wenn man sich auf Metalle beschränkt, zwischen Blei und Eisen, wie 1 : 10; zwischen Eis und Eisen aber wie 1 : 40 und die Spannkraft des Holzes, wie sie sich durch Torsion ergiebt, nur 1/100 des Eisens. Indessen giebt es Körper, die noch schwächer sind als Holz nach seinen Querfasern, z. B. Kautschuk, der wol von allen festen Körpern die kleinste Spannkraft haben mag. Er kann leicht um das Mehrfache seiner ursprünglichen Länge ausgedehnt werden, die Veränderungen sind der Kraft direct proportional und er erlangt seinen frühern Zustand wieder. Indessen ist Kautschuk, wie aus den Diffuffonsversuchen hervorgeht, sehr porös und seine große Ausdehnbarkeit führt nicht sowohl eine Veränderung in seiner Dichtigkeit als in dem Volumen der Poren und in der Krümmung seiner Fasern herbei. Ein Eisendraht z. B., der so spiralförmig gewunden ist, daß er eine Röhre bildet, läßt sich sehr stark verlängern, obgleich der Draht für sich nicht beträchtlich verlängert wird. Dasselbe ist der Fall bei Aggregaten von Membranen, Kork, Schwamm, in's besondre bei lebenden organischen Körpern, wo sich mit der Elasticität die Synaphie verbindet. Etwas ähnliches findet sich auch bei den sogenannten halbflüssigen Substanzen (Cohärenz der Flüssigen §. 70.).

Ob die Spannkräfte der Legirungen und der Gemenge überhaupt zwischen denen ihrer Bestandtheile stehen, ist ungewiß. Jedoch ist es wahrscheinlich. Das Messing, das recht sicher bestimmt ist, steht zwischen Kupfer und Zink, das Kanonenmetall zwischen Kupfer und Zinn.

§. 53. Die Reihe der Metalle stimmt nicht überein, weder mit der galvanisch-chemischen, noch mit den thermischen, noch mit den Reihen für die Fortpflanzung der Elektricität. Nur bei einem einzigen Puncte ist eine schwache Analogie, nämlich mit der Reihe der Körper nach dem Rotations-Magnetismus. So interessant auch diese Beziehung zwischen Cohäsion und Magnetismus wäre, so ist sie doch zu unsicher, um darauf bauen zu können. Leider kennt man die Spannkraft der beiden magnetischen Metalle, Nickel und Kobalt, noch nicht. Wenn man zwischen der Intensität ihrer Magnetismen und ihrer Spannkräfte eine numerisch genaue Uebereinstimmung fände, so wäre eine der wichtigsten Fragen der Physik entschieden.

§. 54. Ordnet man die Körper nach ihrer specifischen Spannkraft, so findet sich:

Stoff.	P:ϱ.	Stoff.	P:ϱ.
Schiefer	778000	Portland-Kalkstein	173000
Glas	526000	Coconfaden	167000
Eisen	512000	Kanonenmetall	165000
Holz, Schwingen	388000	Silber	158000
„ Biegen	334000	Knochen	152000
Gußeisen	308000	Platina	142000
Kupfer	287000	Eis	118000
Tamtam	269000	Zinn	111000
Zink	265000	Fischbein	89900
Thon, gebrannt	262000	Gold	82800
Messing	245000	Holz, Drehen	60000
Glockenmetall	196000	Sandstein	54000
Marmor	187000	Blei	38600

§. 55. In einer Beobachtung Bevan's über den Klang, den einige Metalle von gleicher Gestalt und Größe haben, fand er die Reihenfolge von dem mit dem höchsten Tone klingenden Metalle anfangend:

Stahl, Kupfer, Silber, Glockenmetall, Gold. Die relative Lage von Silber und Glockenmetall ausgenommen, stimmt diese

Reihe mit unsrer Tabelle überein. Dieses war bei der Art, wie diese Schwingungen entstehen, zu erwarten. Man könnte auf diese Weise die Spannkräfte der Legirungen und mehrerer Metalle, von denen dem Beobachter nur wenig Material zu Gebote zu stehen pflegt, annähernd bestimmen.

Die Reihe der Tabelle unterscheidet sich von der des §. 50 sehr bedeutend. Dort hat das specifische Gewicht einen unverkennbaren Einfluß; hier ist es gänzlich neutralisirt, metallische und nicht metallische Körper stehen regellos durch einander. Die Extreme sind hier aber auch weit weniger verschieden, statt 1 : 100 ist das Verhältniß höchstens 1 : 23, und wenn man den etwas problematischen Schiefer fortläßt, wie 1 : 13.

An der Spitze steht außer dem Schiefer das Glas, also eine Art Salz; ein andres Salz, der Marmor, ist weit davon entfernt. Das Holz steht, je nach der Beobachtungsmethode, bald dem Anfange, bald dem Ende der Reihe näher. Auch mit andren Eigenschaften der Körper ist von einer Analogie keine Spur.

Spannkraft der flüssigen und festen Körper.

§. 56. Eine für die Theorie der Elasticität sehr wichtige Frage betrifft das Verhältniß der Spannkräfte der flüssigen und festen Körper. Unsre Tabellen (Elasticität der Flüssigen §. 7 und oben §§. 51 und 54) können, da sie nach denselben Grundsätzen berechnet sind, unmittelbar verglichen werden.

Geht man von der Spannkraft aus, so steht das Flüssige dem Festen im Ganzen sehr nach. Jedoch mit einigen Ausnahmen. Das Quecksilber steht zwischen Zinn und Blei, und die Spannkraft des Holzes, nach dem Drehen gemessen, würde auch in der Reihe der Flüssigkeiten eine der niedrigsten Stellen einnehmen.

Nach der specifischen Spannkraft dagegen kreuzen sich beide Reihen, das Quecksilber geht dem Blei voran, das nur wenigen Flüssigkeiten überlegen ist, der Ammoniak steht dem Zinn nicht sehr nach und hat eine stärkere Spannkraft als das Gold.

Es ist zu bedauern, daß die Spannkraft des Eises nicht zuverlässiger bekannt ist. Nach den Tabellen ist beim

Wasser	Log. P = 4,77.	Log. P : ϱ =	4,77
Eis	„ 5,02.	„	5,07;

also beim Eise noch einmal so groß als im Wasser. Young

sagt aber, daß der Modulus der Elasticität des Eises kleiner sei, als jenes aus Bevan's Beobachtungen abgeleitete Resultat. Cagniard behauptet (Pogg. Annal. 1833. XXVIII. p. 239), daß die Schallgeschwindigkeit im Eise und im Wasser einander gleich seien. Er sagt aber nicht, ob er sie unmittelbar beobachtet, oder ob er sie nur aus andren Versuchen abgeleitet habe, und aus welchen. Nehmen wir an, daß sie für Stangen von Eis richtig angegeben ist, so würden nach dem aus Poisson's Werke abgeleiteten Resultate Log. $P : \varrho$ im Eise um 0,079 größer sein als im Wasser. Da aber Log. ϱ im Wasser etwa 0,046 größer ist, so wird P im Eise und Wasser einander beinahe gleich werden. Es wäre, um das Verhältniß der Spannkraft in flüssigen und festen Körpern kennen zu lernen, sehr zu wünschen, daß man Phosphor und einige Amalgame, welche innerhalb der gewöhnlichen Temperatur schmelzen, sowohl fest als flüssig in dem örsted'schen Compressions-Apparate untersuchte.

§. 57. So viel geht aus den Versuchen mit Wahrscheinlichkeit hervor, daß die Elasticität eben so wenig wie das specifische Gewicht (Einleitung §. 10.) einen charakteristischen Unterschied zwischen Festen und Flüssigen macht, und daß zwei Körper, die chemisch identisch sind, aber der eine flüssig, der andre fest ist, in ihrer Spannkraft nicht so sehr von einander abweichen, daß sich daraus die großen Unterschiede in ihren Cohäsionserscheinungen erklären ließen. Die Ursache der Verschiedenheit liegt in der Krystallisation.

Fünfter Theil.

Krystallkunde.

Geschichtliche Uebersicht.

§. 1. Die deutlichen Krystalle bilden nur einen kleinen Theil von der Masse unserer Erdrinde; allein durch den Glanz ihrer Flächen und die Regelmäßigkeit ihrer Formen stellen sie sich an die

Spitze aller unorganiſcher Körper. Man ſtaunte ſie an, beſchrieb ſie und als man die Thiere und Pflanzen wiſſenſchaftlich zu betrachten anfing, ſuchte man auch ſie zu ordnen und ihre eigenthümlichen Formen zu beſtimmen. Bei vielen Kryſtallen, dem Quarz, Kochſalz, Granat, deren Formen an verſchiedenen Fundorten ſich faſt gleich bleiben, war es leicht. Allein bei anderen ſtieß man auf Schwierigkeiten, die man zu überwinden nicht vermochte. Mehrere der gemeinſten Kryſtalle, beſonders Baryt, Aragonit und Kalkſpath, in ihren zahlreichen Geſtalten, Schwefel- und Speerkies, die man chemiſch und phyſiſch für gleich halten mußte, ſchienen ſich keinem Geſetze zu fügen. Linné und Buffon, an die Beſtändigkeit der Formen in der organiſchen Welt gewöhnt, erklärten daher die Form der Kryſtalle für etwas zufälliges, und gaben den Verſuch auf, ſie nach ihren Geſtalten zu charakteriſiren.

§. 2. Unter günſtigeren Umſtänden beobachtete Romé de l'Isle. Er war durch keine Vergleichung mit den Thieren und Pflanzen verwöhnt. Wo man plötzliche Sprünge in den Formen zu ſehen glaubte, ſah er die Uebergänge. Er maß zuerſt die Winkel und erkannte ihre Identität ſelbſt in denjenigen Kryſtallen, welche nach der Anzahl und Ausdehnung der Flächen von einander ſehr verſchieden waren. Jede Kryſtallart beſitzt nach ihm gewiſſe, ſcharf beſtimmte Neigungswinkel und die einzelnen Formen unterſcheiden ſich nur in der Auswahl aus den möglichen Winkeln und Flächen.

§. 3. Dieſes war ein Fortſchritt. Romé zeigte, daß es ein Geſetz gebe. Allein dieſes Geſetz zu finden, war Hauy vorbehalten, der ſich dadurch zum Gründer der Kryſtallographie erhob.

Er entdeckte zuvörderſt, daß in einer Kryſtallart bei aller Mannigfaltigkeit der Geſtalten die Durchgänge unverändert bleiben. Zum Glück waren dieſe in den Körpern, welche die größten Schwierigkeiten gemacht hatten, meiſtentheils recht kenntlich. Von atomiſtiſchen Grundſätzen ausgehend, nahm er ganz folgerecht an, daß die Durchgänge von der Geſtalt der kleinſten Theile abhängen und ihren Oberflächen parallel ſeien. Aus den Durchgängen ließ ſich nun die Geſtalt der kleinſten Theile ableiten. Dieſe nannte er die Primärform des Kryſtalles. In jeder Kryſtallart iſt die Größe und Geſtalt der Theilchen conſtant; nur die Lagerung der Theilchen iſt verſchieden und bringt dadurch die mannigfaltigen Formen hervor, die aber ebenfalls von gewiſſen einfachen Geſetzen

abhängig ſind. Seine Terminologie beſchränkt ſich auf das Nothwendige, iſt anſchaulich und mit ſeiner Lehre im Einklang. Hauy hat ſein Gebäude vollſtändig ausgeführt, und die engliſchen und franzöſiſchen Naturforſcher, welche ſeine Anſichten über die Atome billigten, mußten ſeine Kryſtallographie faſt ohne Veränderung annehmen.

§. 4. Dieſes war in Deutſchland nicht der Fall. Hier entkleidete man ſie von allem, was an Atome erinnerte, und behielt von ſeiner Lehre nur dasjenige bei, was aus den Beobachtungen unmittelbar hervorzugehen ſchien. Das nach Hauy's Meinung ſo wichtige Gefüge der Kryſtalle verlor durch ſeine Beziehung zur Atomiſtik an Bedeutung. Die Durchgänge ſind überdieß leicht mit Abſonderung zu verwechſeln, und ihre Anzahl iſt für die Beſtimmung der Kryſtallform bald zu groß, bald zu klein. Dagegen iſt die Kryſtallform leicht zu erkennen und einer ſcharfen Meſſung fähig, und man ſann auf Mittel, ſie unabhängig von den Durchgängen zu bezeichnen. Dieſe Richtung hat in der Schule von Weiß ihre Vollkommenheit erreicht.

Die Geſammtheit aller Flächen, die bei einer Kryſtallart vorkommen, bildet die Kryſtallreihe. Die einzelnen Flächen der Kryſtallreihe werden durch das von Hauy aufgefundene Geſetz mit einander verbunden. Die Durchgänge ſind ein Merkmal des Körpers, wie der Glanz, das ſpecifiſche Gewicht und andre es ſind, ohne jedoch für die Kryſtallform charakteriſtiſch zu ſein, indem dieſe durch die Flächen allein hinlänglich beſtimmt wird. Auch Weiß hat ſeine Anſicht folgerecht entwickelt und eine anſchauliche, auf das Nothwendige ſich beſchränkende Terminologie aufgeſtellt; man kann den formellen Theil der Kryſtallkunde durch ihn und ſeine Nachfolger als abgeſchloſſen anſehen.

§. 5. Dagegen iſt die phyſikaliſche Kryſtallkunde noch im Beginnen. Auch ſie iſt von Hauy begründet, theils durch die Unterſuchungen der Durchgänge, theils durch ſeine elektriſchen und optiſchen Arbeiten. Die Lehre von der Polariſation des Lichtes hat ſeitdem einen hohen Grad von Vollkommenheit erlangt; aber ſie berührt die Kryſtallographie nur in wenigen Puncten. Ueber das Verhältniß der Elektricität und der Wärme zur Kryſtallform haben wir nur wenig Andeutungen. Deſto mehr dürfen wir von

der Zukunft erwarten, wenn Männer wie Mitſcherlich, Savart und Neumann ihre experimentellen und theoretiſchen Arbeiten weiter fortgeführt haben werden.

Die chemiſche Unterſuchung der Mineralien hielt mit Entwickelung der analytiſchen Chemie gleichen Schritt. Allein einſeitig beſchränkte man ſich auf die natürlichen Kryſtalle und verſchmähte lange Zeit die Hülfe, welche die Chemie durch ihren großen Reichthum an künſtlichen Kryſtallen verſprach. Der erſte Verſuch der Kryſtallographie auf dem Gebiete der Chemie verbreitete ein ganz neues Licht. Durch ſeine Lehre von der Iſomorphie hat Mitſcherlich einen eben ſo großen Fortſchritt in dem phyſiſch-chemiſchen Theile der Kryſtallkunde gemacht, als Hauy durch ſeine Decrescenzlehre in dem formellen Theile.

Daß ein Körper bei derſelben chemiſchen Zuſammenſetzung ganz heterogene Formen annehmen kann, eine Beobachtung, welches einige Schwankende in die Lehre von der Iſomorphie zu bringen ſchien, findet in der Entdeckung der Iſomerie ihre Erklärung.

§. 6. In der Kryſtallkunde muß man zuerſt den formellen Theil von dem phyſikaliſchen abſondern. Der erſte kann ferner für ſich oder in Beziehung auf die einzelnen Kryſtallarten betrachtet werden. Von dem rein phyſikaliſchen Theile muß man noch die Geneſis der Kryſtalle trennen. Wir haben daher vier Abſchnitte:

1) die Kryſtallographie,
2) die Charakteriſtik der Kryſtalle,
3) die Kryſtallophyſik,
4) die Kryſtallogenie.

Der erſte Abſchnitt iſt ein Theil der angewandten Mathematik und zwar ein ſehr elementarer.

§. 7. Ich werde zunächſt eine Ueberſicht des rein Formellen in der Kryſtallkunde geben und mich um ſo kürzer faſſen können, weil dieſer Theil als Hauptinhalt unſrer mineralogiſchen und kryſtallographiſchen Lehrbücher von andren mit großer Ausführlichkeit behandelt iſt. Auch habe ich ihn ſelbſt von rein mathematiſchem Standpuncte aus an einem andren Orte betrachtet.

Erſter Abſchnitt.

I. Rationalität.

§. 8. Bei den Kryſtallflächen iſt es nicht die Größe, ſondern die Lage, die Neigungen zu andren Flächen, die berückſichtigt werden. In den Gleichungen, welche zur Berechnung ihrer Geſtalt dienen, werden daher nur diejenigen Größen betrachtet, welche von den Winkeln abhängig ſind.

Man kann entweder die Lage der Fläche ſelbſt oder die der Normale beſtimmen, d. h. der Linie, welche ſenkrecht auf der Fläche ſteht. Wir ziehen die Beſtimmung der Normale vor. Nimmt man nnn an, daß die Normalen und die 3 Achſen ſich in demſelben Puncte ſchneiden, ſo kann die Lage einer jeden Normale ausgedrückt werden durch die Gleichungen

$$\frac{x}{p} = \frac{y}{q} = \frac{z}{r}.$$

p, q und r, oder was damit gleichbedeutend iſt, 1, q nnd r, ſind alſo die Coefficienten einer jeden Normale. Es findet nun folgendes Geſetz ſtatt:

Wenn 1, p, q und 1, r, s die Coefficienten von zwei derſelben Kryſtallreihe angehörigen Normalen ſind, ſo können die 3 Achſen ſtets ſo gewählt werden, daß $\frac{p}{r}$ und $\frac{q}{s}$ rationale Größen ſind.

§. 9. Dieſes iſt das Geſetz der Rationalität, das einzige, welches die formelle Kryſtallkunde aus der Erfahrung zu entlehnen hat. Es iſt identiſch mit dem Decrescenz-Geſetze uud ſeit Hauy faſt allgemein aufgenommen. Nur Breithaupt (Schweigg. Journ. 1829. LVII. p. 83) macht eine Ausnahme, indem die Kryſtallformen, die er am Quarz, Turmalin, Veſuvian, Kupferkies und Anatas annimmt, mit jenem Geſetze unverträglich ſind. Allein die Abweichnngen, die er beobachtet hat, ſind leicht erklärlich durch die Unregelmäßigkeiten, von denen nur ſehr wenige Kryſtalle frei ſind (§. 17.).

Mohs bringt zwar auch zuweilen in die Bezeichnung ſeiner Flächen eine Wurzelgröße. Dieſes iſt aber bloß eine Folge ſeiner Terminologie.

§. 10. Alle Normalen einer Kryſtallreihe können daher beſtimmt werden durch die Gleichungen

$$\frac{x}{aA} = \frac{y}{bB} = \frac{z}{cC}.$$

wo a, b, c rationale, von der Lage der Flächen abhängige Größen ſind, A, B, C dagegen für alle Flächen einer Kryſtallreihe conſtante, in der Regel irrationale Werthe haben. a, b, c kommen in den verſchiedenſten Kryſtallreihen vor. Das Verhältniß A:B:C dagegen charakteriſirt die Kryſtallreihe und heißt daher ihr Grundverhältniß.

Wenn man die Normalen, welche mit den Achſen zuſammenfallen, von der Größe A, B, C nimmt, ſo kann man jede andere Normale, deren Coefficienten aA, bB, cC ſind, anſehen, als die Diagonalen eines Parellogramms, deſſen Seiten aA, bB, cC ſind; die Länge dieſer Diagonale heiße der Werth der Normale. Dieſer Werth bleibt zwar unbeſtimmt, indem man für a jede rationale Zahl ſetzen kann, wenn nur das Verhältniß a : b : c unverändert bleibt. Indeſſen ſtehen alle auf dieſe Weiſe gefundenen Werthe einer Normale in einem rationalen Verhältniſſe zu einander.

§. 21. Ferner haben beliebige 3 Normalen der Kryſtallreihe, die nicht in einer Ebene liegen, die Eigenſchaft, daß man ſie zu Kryſtallachſen nehmen kann. Setzt man ihre Werthe nach irgend einer Lage der Achſen = P, Q, R, ſo iſt das Grundverhältniß, wenn man ſie zu Achſen wählt = P : Q : R. Schon Hauy kam dieſem Geſetze nahe, indem er ſagte, daß man zur Primärform einer Kryſtallreihe einen jeden Körper nehmen könne, deſſen Flächen einer Secundärform parallel ſind. Ich habe zuerſt von dieſem Satze einen allgemeinen Beweis gegeben (Crelle's Journal für Mathematik. 1832. VIII. p. 132.

II. Symmetrie.

§. 12. Zwei Normalen, welche eine völlig gleiche Lage zur Kryſtallreihe haben, ſind ſymmetriſch. Wenn zwiſchen den Werthen und Achſen der Winkel keine beſondren Verhältniſſe eintreten, ſo ſind bloß diejenigen Normalen einander gleich, die einander diametral entgegengeſetzt ſind. Sobald aber zwei oder drei Achſen und Winkel einander gleich werden, dehnt ſich dieſe Symmetrie auf mehrere Normalen aus. So wenig wahrſcheinlich vom ma-

thematiſchen Standpuncte auch das Vorkommen der regelmäßigeren Fälle iſt, ſo treten ſie doch ſo häufig ein, daß man die verſchiedenen Stufen der Regelmäßigkeit als eben ſo viele Klaſſen oder Syſteme unterſcheiden muß. Es ſind folgende Syſteme möglich, wobei unter gleichen Achſen nur ſolche verſtanden werden, bei denen eine vollſtändige Symmetrie ſtattfindet.

1. Alle Winkel ſind rechte, alle Achſen einander gleich.
2. Alle Winkel ſind rechte, zwei Achſen einander gleich.
3. Drei Achſen in einer Ebene einander gleich, die vierte ſenkrecht darauf.
4. Alle Winkel rechte.
5. Zwei Winkel ſind rechte, die Achſen ungleich.
6. Die Achſen und die Winkel ſind einander ungleich.

Wenn ein Winkel $= 90^0$ iſt, ſonſt aber keine Gleichheit ſtattfindet, ſo wird die Symmetrie dadurch nicht erhöht. Dieſer Fall und ähnliche ſind daher nicht mit aufgeführt.

Andere Fälle z. B. zwei Axen, die ſchiefwinklig aber einander gleich ſind, und eine dritte darauf ſenkrechte laſſen ſich auf eines der angeführten Syſteme reduciren.

§. 13. Legt man Flächen perpendiculär auf die Achſen, ſo daß die, welche gleichen Achſen entſprechen, auch gleiche Entfernungen vom Centrum haben, ſo entſtehen der Reihe nach: ein Würfel, ein grades Prisma mit quadratiſcher Baſis, ein grades Prisma, deſſen Baſis ein reguläres Rechteck iſt, ein Parallelepipedon mit lauter rechten Winkeln, ein Parallelepipedon mit einem ſchiefen Winkel, ein Parallelepipedon mit drei ſchiefen Winkeln. Nach dieſen Figuren und dem Verhältniſſe der Achſen erlangen die ſechs Syſteme folgende Benennung:

I. Teſſeral oder Iſometriſch.

II. Tetragonal oder Monodimetriſch, Ein- und zwei-achſig.

III. Heragonal, Monotrimetriſch, Ein- und drei-achſig.

IV. Orthoskliniſch, Rhombiſch, Aniſometriſch, Ein- und einachſig.

V. Monoskliniſch, Klinorhombiſch.

VI. Trikliniſch, Klinorhomboidiſch.

Die entſprechenden Namen von Weiß ſind

I. Das reguläre Syſtem.
II. Das viergliedrige.
III. Das dreigliedrige.
IV. Das zwei- und zweigliedrige.
V. Das zwei- und eingliedrige.
VI. Das ein- und eingliedrige.

Ich werde mich immer der Namen Teſſeral, Tetragonal, Hexagonal, Rhombiſch, Monokliniſch und Trikliniſch bedienen, weil ſie bereits von vielen andren angenommen ſind und ich neue Worte nicht liebe.

Hauy hat dieſe Eintheilung noch nicht, da er den Durchgängen folgend Unterſchiede annahm, wo formelle Gleichheit ſtattfindet. Allein er kannte ihre Möglichkeit, Bernhardi ſpricht ſich deutlicher darüber aus. Weiß hat ſie aber zuerſt eingeführt und ſeitdem ſind ſie allgemein aufgenommen.

§. 14. In dem trikliniſchen Syſteme ſind nur diejenigen Normalen einander gleich, die einander diametral entgegengeſetzt ſind, deren Coefficienten alſo

$$+p, +q, +r \text{ und } -p, -q, -r$$

ſind. Wo ſich die Axen in rechten Winkeln kreuzen, ſind die 16 Normalen, welche zu den Coefficienten $\mp p$, $\mp p$, $\mp r$ haben, einander ſymmetriſch. In den Syſtemen, in denen Achſen einander gleich werden, wird die Zahl noch größer, und kann in dem Teſſeralſyſteme auf 48 ſteigen, indem außer den oben angeführten auch diejenigen Normalen einander gleich werden, bei denen ſich die Coefficienten nur durch Verſetzung unterſcheiden, alſo

$$p, q, r;\quad q, r, p;\quad r, p, q;$$
$$r, q, p;\quad p, r, q;\quad q, p, r.$$

Denkt man ſich auf die Enden ein der ſymmetriſchen und gleich groß genommenen Normalen perpendiculäre Flächen, ſo entſtehen körperliche Figuren, die bald nur aus zwei Flächen beſtehen, bald als vier, ſechs, acht, zwölfſeitige Prismen offen ſind, oder geſchloſſen als Würfel und vier, ſechs, acht und zwölfſeitige Doppelpyramiden, zu welchen in dem Teſſeralſyſteme noch einige zuſammengeſetztere Geſtalten kommen.

Die einer ſolcher Gruppen z. B. einem Oktaeder angehörigen Flächen bilden jedoch kein Ganzes; das Daſein und die Größe von

einer der acht Flächen hat keinen Einfluß auf die andren. Es sind acht von einander unabhängige Flächen mit gleichen Eigenschaften. Diese Formen sind von den Krystallographen in's Einzelne, zuweilen in's Kleinliche verfolgt.

§. 15. Die Flächengruppen treten bei allen Krystallreihen eines Systemes mehr oder weniger häufig auf. Die einzelnen Reihen unterscheiden sich daher bloß durch die Größe der Achsen und ihrer Winkel.

Hauy charakterisirte die Krystallreihen nicht durch die Achsen, sondern durch die Grundform, welche der Gestalt der kleinsten Theile, wie er sie annahm, parallel war. Er hatte daher mehr Grundformen, als es Systeme gab. Die Deutschen gaben zwar das Princip, das Hauy bei der Wahl seiner Grundformen leitete, auf, behielten aber die Grundform selbst gewöhnlich bei. Auf jedes System kam aber nur eine Art von Grundformen.

Man kann, wenn man überhaupt eine Grundform für nothwendig hält, um eine Krystallreihe anschaulich zu machen, entweder ein Prisma wählen, dessen Flächen die einfachste Beziehung zu den Achsen haben, welche möglich ist, und das man durch die Größe und die Neigungen der Kanten oder Normalen bestimmt; oder eine geschlossene Figur, wobei bloß Winkel, kein Grundverhältniß anzugeben ist. Das heragonale System ausgenommen, wo man diesen Zweck schon mit einem Rhomboeder erreicht, muß man überall ein Oktaeder nehmen. Dieses that Mohs und nach ihm die meisten deutschen Krystallographen. So lange man bloß rechtwinklige Achsen kannte, wurde diese Grundform dadurch empfohlen, daß sie immer aus symmetrischen Flächen bestand, was in den prismatischen Grundformen, den Würfel ausgenommen, nicht der Fall ist. Aber dieser Vortheil geht in den beiden letzten Systemen verloren, wo es unmöglich ist, ein Oktaeder mit gleichartigen Flächen zu bilden.

Ferner ist es nothwendig, auch neben der Grundform, wie man diese auch wählen mag, die Verhältnisse und die Neigungen der Achsen zu wissen, weil von ihnen die Lage der vornehmsten in der Krystallreihe vorkommenden Prismen unmittelbar abhängig ist. Dieses ist bei dem Oktaeder nicht ohne einige Rechnungen möglich. Mohs und seine Nachfolger haben daher in der Charakteristik ihrer Krystallreihen neben der Grundform auch die Verhältnisse der Ach-

sen anfgeführt. Die oktaedrische Grundform wird dadurch überflüssig und es ist besser, die Verhältnisse der Achsen, oder was damit identisch ist, die Verhältnisse eines vier- oder sechsseitigen Prisma's nebst seiner Basis anzugeben. Dieses ist das Verfahren von Weiß. Wir nennen das Prisma, dessen Normalen die krystallographischen Achsen sind, die formelle Grundform.

§. 16. Die ihrer Lage nach gleichen Flächen sind jedoch nicht immer physisch einander gleich, indem in der Häufigkeit ihres Vorkommens, in ihrer Größe, ihrem Glanze, in der Leichtigkeit, den Krystall in Richtungen zu spalten, die ihnen parallel sind, zuweilen ein constanter Unterschied eintritt. Dieser ist jedoch niemals von der Art, daß die Achsen selbst einander ungleich werden, welches der Fall sein würde, wenn z. B. in dem Würfel zwei einander parallele Flächen sich von den übrigen auf eine constante Weise unterschieden. Wo dieses der Fall zu sein schien, hat sich bis jetzt entweder die Verschiedenheit nicht bestätigt oder auch ein Unterschied in den Winkeln gefunden. Allein zuweilen finden sich Unterschiede, unbeschadet der Gleichheit der Achsen, z. B. zwischen den zwei Tetraedern, in welche man die acht Flächen der regulären oder tetragonalen Oktaeders theilen kann, oder in dem hexagonalen Systeme, zwischen den beiden Rhomboedern, in welche die sechsseitige Doppelpyramide zerfällt.

Ich habe vor einigen Jahren die hier möglichen Fälle vollständig aufgeführt (Isis v. Oken. 1826. Heft 5 und 6). Bald zerfallen die symmetrischen Flächen in zwei einander ungleiche Hälften Hemiedrie, bald in vier Theile, Tetartoedrie, ja vielleicht in acht Theile. Bald behalten die einander parallelen Flächen gleiche Eigenschaften, Hemiedrie mit parallelen Flächen, bald sind sie verschieden, Hemiedrie mit geneigten Flächen. Wo alle symmetrischen Flächen auch physisch einander gleich bleiben, ist Holoedrie.

Die Frage, ob sich bei den einzelnen Krystallreihen solche Hemiedrien vorfinden, ist in der Regel schwer zu beantworten. Die Unterschiede, durch welche sich zwei Hälften eines hemiedrischen Körpers von einander unterscheiden, die Größe, die Häufigkeit des Vorkommens, der Glanz, selbst die Durchgänge sind nicht immer so charakteristisch, daß sie nicht auch auf verschiedenen Flächen, die einander

formell gleich ſind, vorkommen oder vorzukommen ſchienen. Man iſt daher noch weit entfernt, alle theoretiſch möglichen Hemiedrien und Tetartoedrien bereits aufgefunden zu haben. Man kennt aus der Stereometrie die Körper, welche Legentil ſymmetriſch genannt hat. Sie ſind einander vollkommen ähnlich und gleich, allein ſie können nicht ſo geſtellt werden, daß ſie denſelben Raum einnehmen. Dazu gehören mit einigen Ausnahmen die Pyramiden und andere Körper, deren Flächen einander nicht parallel und gleich ſind. Auch in der Kryſtallographie können ſie bei der Hemiedrie mit geneigten Flächen vorkommen. Man hätte alsdann zwei Kryſtallreihen, die in allen Theilen mit einander übereinſtimmten, aber doch im Ganzen verſchieden wären. Bis jetzt hat man dieſe Bildung bloß beim Quarze wahrgenommen und hier in beiden Formen, bald rechts, bald links gewendet. Vermuthlich wird man ſie auch noch bei andren Körpern beobachten.

§. 17. Das Daſein von Kryſtallreihen mit ſchiefwinkligen Achſen wird von einigen bezweifelt. Hauy, der unmittelbar von den Durchgängen ausgieng, hatte zwar ſchon Grundformen mit ſchiefwinkligen Achſen angenommen, allein ihre Zahl iſt bei ihm weit kleiner, als derjenigen mit rechtwinkligen Achſen. Unter den ſecundären Flächen finden ſich immer einige, welche von der Rechtwinkligkeit nicht weit entfernt ſind. Man durfte daher nur dieſe wählen, um überall beinahe rechtwinklige Achſen zu erlangen. Die Verſchiedenheiten, welche ſich in dem phyſiſchen Verhalten zweier Flächen fanden, die nach jener Vorausſetzung ſymmetriſch ſein ſollten, konnte man durch eine Hemiedrie erklären. Man ließ ſich daher bewegen, bei allen Kryſtallen perpendiculäre Achſen anzunehmen, eine Anſicht, die durch die Regelmäßigkeit, die ſich ſonſt in der Kryſtallographie findet, ſehr unterſtützt wurde. So lang man bloß Beobachtungen mit dem Anlege-Goniometer hatte, wie die von Hauy, war dieſe Anſicht leicht zu vertheidigen. Denn die Beobachtungsfehler waren zuweilen größer als die Abweichungen von der Rechtwinkligkeit Allein mit den genaueren Unterſuchungen an dem Reflexions-Goniometer war ſie nicht zu vereinigen. Zuerſt hat, wie ich glaube, Guſtav Roſe die Abweichung von der rechtwinkligen Lage am Feldſpath nachgewieſen. Durch Mohs, Haidinger, Kupffer, Breithaupt, iſt es bei einer Menge von

andren Kryſtallen beſtätigt. Das Daſein ſchiefwinkliger Achſen kann daher nicht mehr bezweifelt werden.

§. 18. Auch in der Größe der Achſen wurde man durch die ſo häufig vorkommende Gleichheit derſelben bewogen, Verhältniſſe anzunehmen, die man für beſonders einfach hielt. Schon Hauy hatte eine Vorliebe zu einfachen Zahlen oder Wurzelgrößen. Weiß erwähnt, daß

$$1 : 2;\quad 1 : \sqrt{2};\quad 1 : \sqrt{3};$$
$$1 : \sqrt{13} = 1 : \sqrt{(2^2 + 3^2)}$$
$$\sqrt{7} : \sqrt{25} = \sqrt{(3 + 4)} : \sqrt{(3^2 + 4^2)}$$

ſich ſehr oft vorfinden. Aehnliche Anſichten haben Naumann und Bernhardi. Auch Breithaupt's ſogenannte Progreſſions-Theorie beruht auf einer ähnlichen Meinung. Es ſoll nämlich ein jedes Verhältniß zwiſchen den Achſen ſich ausdrücken laſſen durch $p : 720$, wenn p eine ganze Zahl iſt. Allein $1 : 720$ macht bei 45^0 nur zwei Minuten aus. Kupffer, der ſehr genau und bei ausgeſuchten Kryſtallen maß, fand Differenzen von mehreren Minuten. Mitſcherlich, deſſen Goniometer unter allen bis jetzt verfertigten vielleicht das vorzüglichſte iſt, findet bei einem und demſelben Kryſtall unter Winkeln, die einander gleich ſein ſollten, zuweilen Unterſchiede von 10^1 und mehr. Es giebt daher ſehr viele Theorien, mit denen man die Beobachtungen mit geringen Modificationen in Uebereinſtimmung bringen kann.

III. Terminologie.

§. 19. Unter der kryſtallographiſchen Terminologie begreife ich die Art und Weiſe, die Flächen zu beſchreiben und zu bezeichnen. Da die Methode von Hauy, der als Schöpfer der Wiſſenſchaft auch die wiſſenſchaftliche Sprache hätte fixiren können, von den Deutſchen nicht angenommen wurde, ſo bildeten ſich eine Menge von neuen Terminologien, die zuweilen eine von Hauy wenig beachtete Seite der Kryſtallographie hervorheben, gewöhnlich aber ſich in eine kleinliche Sonderung untergeordneter Eigenſchaften verlieren und Hypotheſen aufnehmen, die weniger zuläſſig ſind, als die Atomiſtik.

Die Methode von Weiß, wie ſie von ſeinen Nachfolgern aufgefaßt wird, iſt von dieſen Fehlern frei und erfüllt vollſtändig die meiſten Bedingungen einer guten Terminologie. Dieſe ſind:

1) daß man eine Kryſtallfläche und Kante von einer jeden andren unterſcheiden kann.

2) Daß man ſymmetriſche Flächen gleich an ihrer Bezeichnung erkennt.

3) Daß die Hauptflächen der Kryſtallreihen die einfachſte Bezeichnung erlangen.

4) Daß ſich in der Bezeichnung das Geſetz der Rationalität ausſpricht.

Weiß beſtimmte die Lage der Flächen durch die Puncte, wo ſie drei Achſen erreichen und ſeine Bezeichnung ſpricht dieß unmittelbar aus. Daraus geht nicht nur ein Bild der zu bezeichnenden Formen hervor, ſondern man erkennt auch zugleich mehrere Eigenſchaften der Flächen und kann die übrigen, wie auch die Winkel, leicht berechnen.

Naumann, Breithaupt und andre haben ſie mit geringen Modificationen angenommen, jedoch einen Hauptvorzug der Methode von Weiß, die leichte Unterſcheidung ſymmetriſcher Flächen, geopfert.

§. 20. Statt der Flächen kann man auch die Normalen bezeichnen, entweder auf die von uns (§. 10.) angegebene Weiſe, durch Coordinaten, die den Achſen parallel ſind, oder durch Perpendikel, welche man von einem Puncte der Normale aus auf die Achſen fällt. Die Entfernungen derſelben von dem Mittelpuncte ſind alsdann die Coordinaten. Dieſe letzte Methode entſpricht ebenfalls dem Geſetze der Rationalität, giebt eben ſo einfache Formeln zur Bezeichnung der Flächen und zur Rechnung, als die erſte, und iſt überdieß auf eine beliebige Anzahl von Achſen anwendbar, was für die Kryſtalle in mehreren Fällen von Nutzen iſt. Allein die Hauptachſen ſelbſt gehören in den ſchiefachſigen Kryſtallen nicht mehr zur Reihe der Normalen, ſondern zu der der Kanten, die für ſich zwar einem ähnlichen Geſetze folgt, wie die Reihe der Normalen, allein von geringerer Bedeutung iſt.

Die Methode von Weiß läßt ſich ebenfalls auf eine beliebige Anzahl von Normalen ausdehnen, z. B. auf die ſechs den Kanten eines Oktaeders parallele Linien, iſt aber weit anſchaulicher als diejenigen, welche ſich auf Normalen beziehen, und daher für den Unterricht unentbehrlich. Da wir jedoch mehr auf die phyſiſchen

Eigenſchaften der Flächen achten werden, ſo behalten wir die Bezeichnung der Normalen nach der in der analytiſchen Geometrie üblichen Weiſe mit folgenden Abkürzungen bei.

Eine Normale, deren Gleichungen

$$\frac{X}{aA} = \frac{Y}{bB} = \frac{Z}{cC}$$

ſind, wo A, B, C das Grundverhältniß iſt, das für alle Normalen einer Kryſtallreihe gleichförmig bleibt, bezeichne ich durch

[a. b. c.]

und laſſe, wo kein Irrthum möglich iſt, ſelbſt die Parentheſe und die Punkte weg. Die Normalen mit negativen Coordinaten bezeichne ich wie Weiß; z. B. mit [a b′ c′] eine Normale, deren Coefficienten + aA, — bB, — cC ſind. Man könnte auch, wo Plus bezeichnet werden ſoll, einen Strich ſetzen, wo Minus zwei Striche, und keinen Strich, wo man zwiſchen Plus und Minus keinen Unterſchied machen will, z. B. [a b′ c″], wäre die Bezeichnung zweier Normalen, deren Coefficienten

aA, + bB, — cC ſind.

Iſt das Grundverhältniß einer Kryſtallreihe nach Normalen A:B:C; nach Weiß P:Q:R, ſo iſt

$$P = \frac{1}{A};\ Q = \frac{1}{B};\ R = \frac{1}{C}.$$

und die Normale [abc] entſpricht der Fläche nach Weiß

$$\left[\frac{1}{a}P : \frac{1}{b}Q : \frac{1}{c}R\right].$$

§. 21. Die Berechnung der Grundverhältniſſe aus den Winkeln und umgekehrt iſt eine rein mathematiſche Aufgabe, die am leichteſten durch die analytiſche Geometrie gelöſt wird. Ich habe die allgemeinen Gleichungen in der eben erwähnten Abhandlung mitgetheilt. In den Syſtemen, welche ſich auf rechtwinklige Achſen zurückführen laſſen, ſind ſie ſehr geſchmeidig. In den mineralogiſchen und kryſtallographiſchen Lehrbüchern hat man ſie mit verſchiedenem Glücke mehr oder weniger ausführlich, aber immer elementar behandelt.

Zweiter Abschnitt.

Charaktere der Krystallreihen.

§. 22. Der vorhergehende Abschnitt enthält einen Umriß der bei allen Krystallreihen statt findenden Gesetze. Um aber die Verhältnisse der Krystallreihen gegen einander kennen zu lernen, ist es nöthig, eine Charakteristik aller bekannten Krystallreihen zu entwerfen. Dieses hat man jedoch bisher nur für die natürlichen Krystalle gethan. Ein Zoologe, dem es gelungen wäre, ein neues Thier durch Kunst hervorzubringen, würde es sogleich in das System eintragen. Die Krystallographie ist jedoch bis jetzt die Dienerin der Mineralogie gewesen. Die künstlichen Krystalle, die ihr nicht minder nahe stehen, als die natürlichen, und weil man die Umstände ihrer Entstehung in seiner Gewalt hat, noch mehr Ausbeute für die Erkenntniß der Krystallisationskraft versprechen, sind bis jetzt fast gänzlich vernachlässigt. Man hat sie wol beobachtet und beschrieben, namentlich verdanken wir Mitscherlich und Brooke zahlreiche und genaue Messungen, allein in der Regel hat man nur die Winkel gegeben, ohne sie auf systematische Weise zu berechnen. Ich habe alle mir bekannt gewordenen Beobachtungen von Krystallen, künstlicher wie natürlicher, auf gleichförmige Weise berechnet. Ich werde jedoch, um die diesem Werke gestellten Grenzen nicht zu überschreiten, die Tabelle hier nicht bekannt machen, sondern mich darauf beschränken, die Art der Charakteristik und einige Resultate aus der Berechnung mitzutheilen.

1. Charakteristik.

§. 23. Die Charakteristik der einzelnen Körper bezieht sich auf drei Klassen von Eigenschaften, auf die formellen, die physischen und die chemischen.

Die Krystallform wird nach zwei Seiten hin betrachtet: die Charakteristik der Formen als Ganzes und die Ausbildung. Jene besteht in der Grundform und in der Art der Hemiedrie. Hierbei gehe ich, das Hexagonalsystem ausgenommen, stets von drei Achsen aus, die, wo es ohne Zwang geschehen kann, perpendiculär auf einander stehen.

Zur Bestimmung der Grundform gehören fünf Angaben, die drei Winkel der Achsen und das Grundverhältniß. In den Syste-

men mit rechtwinkligen Achſen iſt bloß noch das Grundverhältniß zu beſtimmen, in dem monokliniſchen iſt außerdem noch ein Winkel zur Charakteriſtik nothwendig; und in dem tetragonalen und hexagonalen braucht man nur eine Angabe, um die Kryſtallreihe vollſtändig zu charakteriſiren. Die Querachſe wird dann immer = 1 geſetzt.

Wenn man das Grundverhältniß, wie es für die Rechnungen bequemer iſt, in Logarithmen angiebt, ſo braucht man nie über die vierte Decimalſtelle hinauszugehen. 0,0001 beträgt in der Tangente von 45° etwa 24 Secunden. Allein keine einzige Kryſtallreihe iſt auf die Minute zuverläßig. Sehr ſelten erreicht die Genauigkeit 0,001, d. h. ∓ 2 Minuten, ja oft nur 0,01 oder ∓ 20 Minuten.

§. 24. Die Ausbildung iſt eine Beſchränkung der Rationalität. Von den möglichen Flächen kommen nur gewiſſe vor, und dieſe in verſchiedenen Graden der Ausdehnung und Häufigkeit. Hinge die Kryſtalliſation bloß von den Grundformen ab, ſo wäre die Ausbildung ein nothwendiges Reſultat derſelben und ihre Verſchiedenheit nur als Zufall anzuſehen. Allein die Reduction auf perpendiculäre Achſen iſt eine künſtliche Form, in welche ſehr vielartige Kryſtallreihen zuſammengezogen ſind. Man muß daher auch die beobachteten Flächen nebſt den vornehmſten Combinationen, d. h. den Flächen, mittheilen, welche gleichzeitig einen Kryſtall begränzen. In den Angaben der Kryſtallographen finden ſich in beiden Beziehungen noch viele Fehler. Hauy hat kein Reflexions-Goniometer angewendet, und eine Täuſchung war daher nicht zu vermeiden. Bei andren, die mit beſſern Inſtrumenten verſehen waren, fehlte es nicht ſelten an Sorgfalt und an Kritik. Zeichnung und Beſchreibung ſind oft nicht zu vereinigen. Es iſt daher, wo nicht neue, zuverläſſige Monographien vorliegen, in der Regel beſſer, ſich bei künſtlichen Kryſtallen auf die von Mohs und Haidinger beobachteten Combinationen zu beſchränken, obgleich ſich auch in ihre Beſchreibungen, trotz aller Sorgfalt, viele Fehler eingeſchlichen haben.

§. 25. Unter den phyſiſchen Eigenſchaften der Kryſtalle nimmt die Structur den erſten Rang ein. Die Elaſticität und die Cohärenz an ſich haben für die Kryſtallkunde keine große Bedeutung, deſto wichtiger iſt aber ihr Unterſchied in verſchiedenen Richtungen, und dieſen bezeichne ich durch Structur. Wäre dieſe genau bekannt,

so müßte die Formel, welche die Größe der Cohäsion in verschiedenen Richtungen ausdrückt, mit in die Charakteristik aufgenommen werden, in so fern sie nicht aus dem Grundverhältnisse selbst abgeleitet werden kann. Von dieser Kenntniß sind wir aber noch sehr weit entfernt. Einige Beobachtungen über Härte und Elasticität abgerechnet, kennt man von den verschiedenen Resultaten der Cohäsion nur die Eigenschaft vieler Krystalle, sich in gewissen Richtungen mit größerer Leichtigkeit zu spalten, als in andren. Diese Richtungen der leichteren Spaltbarkeit oder die Durchgänge gehören zu den am meisten beobachteten und den beständigsten Merkmalen der Krystalle. Aber auch die Durchgänge selbst sind nicht hinlänglich bekannt. Bei vielen Körpern sind sie gar nicht beachtet, bei andren erlaubt die Zähigkeit ihre Beobachtung nicht, oft kann man von ihnen nur Spuren wahrnehmen. Ueberall sind sie leicht mit der Absonderung zu verwechseln, die bloß eine Folge von einer Störung in dem Wachsthum des Krystalles ist. Nicht selten giebt es der Durchgänge mehrere, und es ist sehr schwierig zu bestimmen, welcher Durchgang der stärkere sei. In vielen Krystallen sind daher die Durchgänge falsch angegeben und Körper, die einander sehr nahe stehen, weit auseinandergerückt und umgekehrt. Bei künstlichen Krystallen habe ich den Durchgang zuweilen selbst untersucht, bei den natürlichen habe ich die Beobachtungen von Hauy, Mohs, Haidinger und Breithaupt verglichen und bin vorzüglich dem letzten gefolgt, der viel Aufmerksamkeit darauf verwendet hat. Dennoch bleibt die Bestimmung des Durchganges sehr ungewiß.

§. 26. Zu den physischen Eigenschaften, die in einer Charakteristik nicht fehlen dürfen, gehört auch die Elektro-Polarität durch Erwärmung und die Doppelbrechung des Lichtes. Jene ist für die Krystallform dadurch von Bedeutung, daß sie in der Regel an die Hemiedrie mit geneigten Flächen gebunden ist. Wir besitzen darüber eine Arbeit von Hauy und eine von Brewster. Der erste beobachtete eine wahre Polarität, der zweite aber die Elektricität, insofern sie sich in der Anziehung leichter Körper zeigt. Diese fand er zwar bei einer großen Anzahl von Körpern, von denen viele von jener Hemiedrie frei sind. Allein sie gehören doch fast ohne Ausnahme zu Krystallen mit schiefwinkligem Gefüge, und es wäre möglich, daß die von Brewster beobachtete Elektricität, welche doch wohl größtentheils auf Polarität innerhalb des Kry-

stalls beruhen mag, sich nicht auf Hemiedrie, sondern auf Schiefwinkligkeit des Gefüges bezöge. Auch Hauy giebt Elektro-Polarität beim Titanit, Mesotyp und Prehnit an, die man nicht für hemiedrisch ausgebildet hält.

Die Doppelbrechung des Lichtes ist ein Resultat des Gefüges, allein kein unmittelbares, indem das Licht häufig keinen Unterschied zeigt, wo er sich in dem Gefüge vorfindet. In dem tesseralen Systeme wird das Licht nur einfach gebrochen. In dem tetragonalen und hexagonalen doppelt, aber so, daß der eine Stral constant bleibt, und die Brechung des andren bloß von seiner Neigung zur Hauptachse abhängt, also von der Beschaffenheit der Querachsen unabhängig ist. In den rhombischen und den noch minder symmetrischen Systemen ist die Doppelbrechung eines jeden Strales von zwei Größen abhängig.

Die besten Angaben über die Doppelbrechung sind von Brewster Philos. Transact. 1818. p. 211. Einige Nachträge finde ich in Herschel On Light Uebersetz. p. 663. Diese Uebersetzung wimmelt so sehr von Fehlern, daß man glauben muß, der Verfasser sei der wissenschaftlichen Sprache der Engländer nicht mächtig gewesen.

Hierzu kommt noch die chemische Formel, wozu Berzelius in seinem Werke über das Löthrohr und in seinen Jahresberichten alle nothwendigen Data mittheilt.

§. 27. Die Charakteristik bei vollständig bekannten Krystallen besteht daher hauptsächlich aus drei Puncten: Die Grundform, das Gefüge und die chemischen Bestandtheile. Die beiden letzten werden durch die Beobachtung unmittelbar gegeben, zur Grundform aber kann man nach §. 11. drei beliebige Normalen aus der Krystallreihe wählen. Ich bestimme sie immer so, daß die Durchgänge, und wo diese nicht hinreichen, die herrschenden Flächen eine Bezeichnung erlangen, die so einfach ist, als die Rechtwinkligkeit der Achsen es erlaubt. Sämmtliche vorkommende Flächen erlangen dadurch von selbst die möglichst einfachste Bezeichnung. Diesem Princip folge ich streng.

II. Classification.

§. 28. Wir ordnen die Krystalle ohne Rücksicht auf Chemismus. Ich bin weit entfernt, diese Einrichtung für die Mineralogie zu

empfehlen, überhaupt nicht als Mittel, die Krystalle am leichtesten zu erkennen, wozu die chemischen Charaktere die geeignetsten sind. Unsere Eintheilung bezieht sich nur auf die Krystallisation, und wir unterscheiden vier Stufen. Die Art (Species), die Gattung (genus), die Familie, die Klasse.

§. 29. Die Species enthält alle Krystalle von derselben Grundform, denselben physischen und chemischen Eigenschaften. Die Unterschiede beziehen sich nur auf die räumliche Ausdehnung der Krystalle und ihrer Flächen und auf die Combinationen. Die letzten bilden die Varietäten. Allein es findet sich bei der krystallographischen Species ein Umstand, welcher die Bestimmung der Species schwankend macht. Zwei verschiedene aber verwandte Krystall-Species gehen zuweilen Mischungen mit einander ein, wodurch Krystall-Species entstehen, die in jeder Beziehung die Mitte zwischen den beiden ursprünglichen halten. Wo die Mischung in jedem Verhältnisse möglich ist, kann auch die Krystallform in ihren Winkeln jeden beliebigen Zwischenwerth annehmen, z. B. kohlensaurer Kalk und kohlensaures Eisen bilden einander nahe stehende aber in ihren Winkeln verschiedene Species. Beide aber können sich in jedem Verhältnisse mischen und die daraus hervorgehenden Krystalle haben immer Winkel, die zwischen denen des Kalk- nnd Eisensalzes liegen, und je nach ihren Bestandtheilen dem einen oder dem andren näher stehen. Wollte man nun jedes Gemisch als besondere Krystallreihe aufstellen, so hätte man zwischen jenen beiden Krystallen allein eine unendliche Anzahl von Species. Man muß sich daher bei der Charakteristik, so weit es möglich ist, auf die ungemischten Krystallen beschränken. Bei diesen sind, das Tesseral-System ausgenommen, auch die Winkel wahrscheinlich immer etwas verschieden. Bei den Gemischen aber ist es möglich, daß bei Verschiedenheit der Bestandtheile eine Identität der Form stattfindet. Kohlensaurer Zink z. B. hat eine Form, welche, wenn man den Angaben trauen darf, zwischen denen des Eisens und des Kalkes steht. Es muß also ein Gemisch von kohlensaurem Eisen und Kalk geben, dessen Krystallform der des Zinksalzes vollkommen gleich ist.

§. 30. Wir verdanken die Kenntniß dieser in jedem Verhältnisse sich mischenden und krystallisirenden Körper fast ausschließlich den Versuchen von Mitscherlich. Ihre Anzahl ist sehr bedeutend. Wir zählen ihnen auch diejenigen Krystallreihen bei, welche, ohne

miſchbar zu ſein, keine größere Verſchiedenheit haben, als jene. Alle dieſe in ihrer Geſtalt ſehr nahe ſtehenden, iſomorphen Kryſtallreihen bilden die Gattung. Unſre Gattung iſt von der bei den Mineralogen üblichen ſehr verſchieden. Breithaupt's Gattungen ſtimmen zuweilen mit den meinigen überein, allein da er von einem andren Principe ausgieng, ſo ſind bei ihm bald verſchiedene Kryſtallformen vereinigt, z. B. Turmalin und Boracit; bald iſomorphe getrennt, z. B. Aragonit und Strontianit, Apatit und Grünbleierz.

§. 31. Die Kryſtallfamilie enthält alle Gattungen, deren Structur dieſelbe Symmetrie hat. Ich werde ſpäter zeigen, daß die einer Familie angehörigen Gattungen wahrſcheinlich eine gleiche Ausbildung haben. Das Charakteriſtiſche der Familie iſt alſo die Structur, und da dieſe vielleicht nicht bei der Hälfte der Kryſtalle auf eine hinlänglich genaue Weiſe bekannt iſt, ſo wird auch die Beſtimmung der Familie ſchwankend.

Es iſt möglich, daß wie in der Gattung die Species, ſo in der Familie die Gattungen in einander übergehen können, und die Familie eine Einheit bildet, welche innerhalb ihrer Grenzen jeder Variation der Winkel fähig wäre, daß aber verſchiedene Familien ohne Uebergänge getrennt ſind.

§. 32. Die Klaſſe endlich enthält alle Kryſtallſpecies, die einem Syſteme (§. 13) angehören. Zwar findet auch hier zuweilen noch eine Ungewißheit ſtatt, aber nur bei ſehr unvollſtändig beobachteten Körpern.

§. 33. Die hemiedriſchen Kryſtalle könnte man als eigene Klaſſen unterſcheiden. Allein eine jede hemiedriſche Form müßte dann wiederum nach ihren Durchgängen in Familien getheilt werden, und dadurch würde die Anzahl der Familien und mit ihr die Ungewißheit der Anordnung ſehr vermehrt. Es iſt daher für den gegenwärtigen Standpunct der Kryſtallkunde beſſer die hemiedriſchen Kryſtalle an das Ende einer jeden Familie, der ſie nach ihren Durchgängen angehören, zu ſtellen. Nur in der heragonalen Klaſſe müſſen die rhomboedriſchen Kryſtalle beſonders behandelt werden, weil hier die Hemiedrie nur ſcheinbar iſt, ſich, was ſonſt nicht der Fall iſt, meiſtentheils auch auf die Durchgänge erſtreckt, und eine eigenthümliche Bezeichnung verlangt. Nichts iſt leichter und nichts iſt unnöthiger als eine ſtreng logiſche Anordnung.

II. Ausbildung der Kryſtallreihen.

§. 34. Die Ausbildung der einzelnen Kryſtallreihen zu beſtimmen, iſt eine ſehr mißliche Aufgabe. Wer die Kryſtalle nicht vor Augen hat, kann die herrſchenden von den untergeordneten Flächen nicht unterſcheiden. Die Häufigkeit des Vorkommens der Flächengruppen in den Combinationen zu zählen, wovon ich beim Kalkſpath ein Beiſpiel geben werde, führt nur ſelten zum Ziele, indem der Zufall einige Varietäten beſonders häufig gemacht haben kann, und die Bedingungen, bei welcher ſecundäre Flächen entſtehen, uns noch gänzlich unbekannt ſind. Wenn man jedoch die Ausbildung von einer ſehr großen Anzahl gleichförmig berechneter Kryſtallreihen mit einander vergleicht, ſo wird es möglich, einige allgemeine Reſultate zu gewinnen.

§. 35. Mit wenigen Ausnahmen ſind die Flächen, in denen bloß die Coefficienten 0 und 1 vorkommen, ſowohl in der Anzahl, als in der Größe ihrer Flächen die herrſchenden. Ich will ſie die Hauptflächen nennen. In vielen Körpern iſt die Ausbildung auf ſie beſchränkt. Bei einigen häufiger vorkommenden Kryſtallen finden ſich auch andre Flächen, deren Normalen mit denen von zwei jener Hauptflächen faſt immer in einer Ebene liegen, deren Coefficienten alſo o, a, b, oder a, b, b ſind. Weiß bezeichnet die Flächen erſter Art als den Kantenzonen, die Flächen zweiter Art als den Diagonalzonen angehörig. Dieſe Flächen aber kommen bei verſchiedenen Kryſtallreihen auf zweifache Art vor. In einigen iſt der Werth von a und b = 2, weit ſeltner 3 und einer höheren Zahl; bei andren iſt der Werth 3 oder 5; dagegen 2 oder 4 viel ſeltner oder gar nicht gefunden werden. Den erſten Fall wollen wir die normale, den zweiten die abnorme Ausbildung nennen. Das Fortſchreiten der Nebenflächen nach 2, 4, 6 will ich hier nicht weiter berückſichtigen, weil es zwar der abnormen Ausbildung ähnlich iſt, aber auf die normale zurückgeführt werden kann.

Die normale Ausbildung iſt die überwiegende. In einigen Kryſtallreihen kommen beide, aber in verſchiedenen Zonen vor.

§. 36. Im teſſeralen Syſteme ſind Bleiglanz, Spinell, Glaserz, Rothkupfererz normal. Auch der Granat iſt es, aber mit eigenthümlichen Modificationen. Dagegen iſt ſie abnorm in dem Flußſpathe, wo nächſt den Hauptflächen, 031, 311, 133 am häufigſten

ſind, 021 gar nicht und 211 nur einmal und nicht ganz ſicher angegeben wird.

Im tetragonalen Syſteme haben Veſuvian und andre Kryſtalle eine normale Ausbildung, dagegen hat der Hausmannit 311 (211 fehlt); der Anatas 511, 711 (211, 411, 611 auch 311 werden nicht angegeben). Der Schwerſtein hat 311, 331, 131, 510 in ſeinen hemiedriſchen Combinationen.

In dem hexagonalen Syſteme iſt Apatit normal; Quarz dagegen charakteriſtiſch abnorm.

1011, 1033, 1055, 1077, 3055 auch 1099

werden angegeben, während die zwiſchenliegenden mit geraden Zahlen weit ſeltner ſind.

In dem rhomboedriſchen Syſteme iſt nur der Zinnober abnorm. Er hat 1'33, 1'55 während 1'22, 1'44 fehlen. In der Arſenikblende, dem Turmalin, dem Kalkſpath iſt die Ausbildung, wenn man unſre Bezeichnung annimmt, normal.

In dem rhombiſchen Syſteme iſt die abnorme Ausbildung ſelten. Schwefel und die ihm iſomorphen Kryſtalle ſind jedoch entſchieden abnorm. Seine vollſtändige Charakteriſtik, die ich als Beiſpiel meiner Methode mittheilen will, iſt

Schwefel.

Saures ſchwefelſaures Kali, $Ka_1 O_1 S_2 O_6 H_2 O_1$,
„ ſelenſaures „ „ Se_2 „

GV. 0,278 : 0,369 : 0,091 Mitſcherlich.

Dgg. 111 am deutlichſten.
011 100 ſchwächer.

FI. 100 001
011 101 110
111 311 511.

Comb. 100 111; 011 111;
100 001 111;
100 110 111 311;
100 011 110 111 311;
100 011 101 110 311 511.

Thermoelektriſch nach Brewſter.

In den monokliniſchen und triklinischen Syſtemen verhalten ſich die Ausbildungen, wie in dem rhombiſchen. Axinit iſt ganz normal, Kupferlaſur dagegen neigt ſich in das Abnorme.

§. 37. Ich will einige gut ausgebildete Systeme aus verschiedenen Klassen hier mittheilen, theils um den Gang der Ausbildung im Allgemeinen zu erläutern, theils als Beitrag zur Kenntniß von 3 wichtigen Kryſtallreihen.

Kalkſpath *)

GV. = 0,1553 Mitſcherlich.

Dgg. 100 vollkommen,
011 ſchwächer;
111 u. a. m. Spur.

Fl. 100 011 043?B 021 073B 031 041 051B? 061
01'1 06'5? 05'4 04'3 03'2 05'3B 07'4?
02'1 05'2 03'1 04'1 05'1 06'1

111 211 155?
16'.1.1?B 6'11 4'11B 3'11 5'22 9'44? 2'11
9'55? 5'33 3'22 7'55 4'33 5'44B? 6'55B
1'11 6'77B 4'55 2'33 1'22 1'33 1'55B? 1'88?

1'43 2'83B 3'95B? 3'52 2'31B? 5'73 5'71
3'42 4'53B 4'52 8'.10.1 7'82
5'53 4'41B? 3'32B? 3'31 2'23 2'21
4'31 3'21
15'.10.2B? 9'65B? 5'31 15'.9.1 4'21B? 6'32B? 8'41?

Comb. 100; 011; 02'1; 04'1; 03'2;
1'11; 3'11; 3'22; 4'55?; 211;

100 011; 100 01'1; 100 02'1;
100 04'1; 100 111; 100 1'11;
100 2'11; 100 3'11; 100 3'22;

*) Um eine rhomboedriſche Kryſtallreihe zu charakteriſiren, kann man entweder den Winkel zwiſchen 2 den Hauptflächen entſprechenden Normalen, oder die Neigung zur Hauptachſe angeben. Bei dem Würfel iſt die Tangente dieſes Winkels = V [1:2]. Um das Verhältniß zum Würfel einleuchtender zu machen, habe ich die Tangente dieſes Winkels bei allen Kryſtallen dieſer Familie mit V 2 multiplicirt. Bei dem rhomboedriſch geſtellten Würfel iſt es alſo = 1.

Die Bezeichnungsweiſe beruht auf der Annahme dreier einander ſymmetriſcher Achſen.

011 01′1; 011 03′1; 011 05′4;
011 111; 011 1′11; 011 2′11;
011 3′22; 011 3′52;

02′1 031; 02′1 610?; 02′1 2′11;
02′1 3′11; 02′1 1′33; 02′1 2′33;
03′2 1′11; 03′2 2′11; 03′2 2′21;
03′2 3′11; 04′1 111; 05′4 111;
03′1 2′11; 03′2 211;
111 1′11; 111 2′11; 111 3′11;
1′11 2′11; 1′11 3′11; 1′11 2′21;
3′11 2′33;

100 011 041; 100 011 2′11;
100 01′1 03′2; 100 01′1 5′53?;
100 02′1 2′11?; 100 02′1 1′33;
100 03′2 1′11; 100 05′2 07′4;
100 111 1′11; 100 111 3′11;
100 1′11 21′1; 100 2′11 1′22;
100 3′11 3′22;

011 01′1 2′11; 011 02′1 2′11;
011 03′1 2′11; 011 03′2 2′11;
011 111 2′11; 011 111 3′22;
011 11′1 2′11; 011 2′11 1′33;
011 2′11 4′55;
01′1 03′2 1′11; 01′1 05′4 1′11;
01′1 2′11 111; 01′1 2′21 7′55?

02′1 031 2′11?; 02′1 061 2′11;
02′1 05′4 3′11; 02′1 111 1′11;
02′1 1′11 2′11; 02′1 1′11 2′21;
02′1 1′11 3′11; 02′1 2′11 5′73;
03′2 111 2′11;
04′1 111 3′11; 04′1 2′11 3′11;
111 1′11 2′11; 111 2′11 2′33;
111 2′11 4′55; 111 2′11 8′.10.1?;
111 3′22 4′55;
1′11 2′11 4′52.

Die Flächen sind nach der zweiten Auflage von Hauy's Traité de Mineralogie I. p. 302. und Bournon Traité complet de la chaux carbonatée 1808. Einige Zusätze rühren von Monteiro, Mohs, Naumann u. a. her. Das Werk von Bournon kenne ich nur aus Wakkernagels Abhandlung (Kastn. Archiv 1826. IX. p. 129.), der ein sehr ungünstiges Urtheil darüber fällt. Indessen ist auch Hauy's Arbeit keineswegs von Fehlern frei und selbst bei den neuesten Krystallographen sind Rechnungsfehler, die zu falschen Bezeichnungen führen, nicht selten. Ich habe jedoch die Flächen, welche Bournon allein beobachtet hat, mit B bezeichnet und einige derselben, bei denen es mit großer Wahrscheinlichkeit geschehen konnte, gleich im Texte corrigirt. Bei diesen steht (B?). Hauy's Flächen habe ich zuweilen durch ein (?) in Frage gestellt, aber nicht abgeändert. Die Veränderungen, die ich mir in Bournon's Flächen erlaubt habe, sind folgende, wobei ich voraussetze, daß Wakkernagel's Bezeichnungen von Bournon selbst herrühren. Die von mir angenommenen Flächen stimmen in der Regel mit den von Wakkernagel vermutheten überein und sind meistentheils auch von andern beobachtet.

Bournons Bezeichnung.	meine Bezeichnung.	Bournon's Bezeichnung.	meine Bezeichnung.
097	043	32′39.5	5′71
092	051	8′ 9 2	4′41
38′13.13	3′11	19′20.12	5′53
17′6.6	3′11	19′18.12	3′32
22′63.36	3′95?	18′17.10	2′21
7′12.10	3′32	44′29.23	3′21
5′ 8 3	2′31	21′13.11	9′65
153′208.89	5′73	12′ 7. 3	4′21
11′15.2	5′71	15′ 8. 5	6′32

Wahrscheinlich reichen selbst diese Correctionen nicht aus

073 ist vielleicht 021;

07′4 02′1;

155 und 16′1.1 sind schwerlich richtig, vielleicht etwas gekrümmte 011 und 100.

Hauy's 9′44 und 9′55 sind, wie sich aus der Combination ergiebt, gewiß nur 2′11.

6′77 und 1′88 können 5′77 und 1′77 ſein, wenn ſie nicht gar 111 und 011 ſind.

9′65 und 15′.9.1 ſind wol nur 3′22 und 05′3.

22′.63.36, 21′.13.11 und 15′.8.5 möchten noch weiter auf 1′32, 3′22 und 3′21 zu reduciren ſein.

Dieſe Veränderungen wollte ich jedoch nicht in den Text aufnehmen, obgleich ſie ſich auf ſeltene und ungewiſſe Flächen beziehen.

Die Combinationen ſind mit ein paar Ausnahmen ſämmtlich von Hauy. Ich habe mich auf die Unionen, Binionen und Ternionen beſchränkt, die zahlreich genug ſind, um die Ausbildung der Kryſtallreihe kennen zu lernen. Allein dieſe ſind auch vollſtändig bis auf wenige, unſtreitig irrige. Dieſe ſind:

8′.10.1 unter den Unionen, etwa für 05′4.

4′55 müßte, wenn es richtig wäre, unter den Binionen vorkommen, daher mein Fragezeichen.

Unter den Binionen ſind 011 9′44 und 011 9′55 unſtreitig die ſehr gewöhnlich 011 2′11.

Unter den Ternionen iſt

011	1′33	9′55	unſtreitig	011	1′33	2′11.
01′1	2′21	7′55	wahrſcheinlich	011	2′21	3′22.
111	2′21	8′.10.1	vielleicht	111	2′11	05′1.
2′11	2′21	9′55	wahrſcheinlich	2′11	2′21	2′11.

Nach den Zonen geordnet ſind die Flächen:

001	011	021	031	041	051	061.
001	01′1	02′1	03′1	04′1	05′1	06′1.
002	01′2	02′2	03′2	04′2	05′2	06′2.
01′0	02′1	03′2	04′3	05′4	06′5?	
1′00	1′11	1′22	1′33	1′44	1′55.	
1′22	2′22	3′22.				
1′33	2′33	3′33	4′33	5′33.		
2′00	3′11	4′22	5′33	6′44	7′55.	
2′20	3′31	4′42	5′53	6′64.		
1′01	2′11	3′21	4′32.	(Prismen)		
1′11	2′21	3′31	4′41.			
1′22	2′32	3′42	4′52.			
u. ſ. f.						

Um einen Anhaltspunct zu haben, habe ich die Flächen in den von mir mitgetheilten Combination gezählt. Es kommen vor:

100	24 mal;	011	21 mal;	01′1	9 mal.
111	19 »	1′11	11 »	04′1	5 »
02′1	18 »	03′1	3 »	3′11	13 »
03′2	11 »	2′11	31 »	2′33	3 »
8′22	6 »	1′33	3 »		
2′21	4 »	4′55	3 »		

Alle übrigen Flächen kommen noch seltner vor. 4′55 scheint zuweilen mit 1′11 und 04′1 mit 03′1 verwechselt zu sein.

Obgleich auf diesem Wege keine zuverlässigen Resultate zu erwarten sind, so ersieht man doch daraus, wie rasch die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens abnimmt, wenn man sich von den Hauptflächen entfernt.

§. 38. Eben so, nur minder reich ausgebildet, sind der Epidot und der Axinit.

Epidot nach Weiß's Angaben (Berl. Akad. 1818 — 19. p. 242.).

Die erste Achse steht senkrecht auf den beiden andren.

Dgg. 010 am besten.
001 schwächer.

Fl. 100 P. 010 M, 001 T.
01′1 r. 101 z. 1′10 d.
01′3 w, 02′1 s. 01′2 l. 04′1 i. [03′1?]
102 ω. 120 h.
111 d. 11′1 n.
121′ x. 11′2 y. 2′12 q. 12′2 e. 676′? [111′?]

04′1 und 676′ stellt Weiß selbst in Frage. Jenes ist vielleicht 03′1, dieses ist unstreitig 111′. Die Reihe ist sehr normal.

§. 39. Axinit nach Neumann (Pogg. Annal. 1826. IV. p. 63.)

Dgg. 100 und 010

Fl. 100 M. 010 P. 001 y.
011 x′; 011′ e. 101′ v. 110 r. 11′0 r′.
021 s. 031 σ.
1′11 u. 11′1 o. 111′ w. 21′1 n. 1′21 l. 112′ n.

Eben so einfach erscheinen die Flächen der Kupferlasur, wenn man sie auf unsre Weise bezeichnet, nur etwas in die abnorme Ausbildung geneigt.

§. 40. Wir finden also in jeder Klasse beide Arten von Aus-

bildung; dagegen ſcheinen nach den Familien folgende Unterſchiede ſtatt zu finden.

1) Wo in einer Zone die Durchgänge rechtwinklig auf einander ſtehen, iſt die Ausbildung normal.

2) Wo ſie ſchiefwinklig auf einander ſtehen, iſt ſie abnorm. Hiervon machen unter den ausgebildeten Kryſtallen nur der Apophyllit und das Rothkupfererz eine Ausnahme. Dieſes hat oktaedriſche Durchgänge und eine normale Ausbildung. Jener rechtwinklige Durchgänge und eine abnorme Ausbildung.

Verhältniß der Ausbildung zu der Lage der Durchgänge.

§. 41. Die Ausbildung iſt alſo innerhalb einer jeden Familie, wenn wir von den hemiedriſchen Kryſtallen abſehen, beinahe conſtant und ihre Unterſchiede treten nur bei verſchiedenen Familien einer Klaſſe hervor. Aber ſelbſt dieſe Unterſchiede rühren nur von unſrer Bezeichnungsweiſe her. Denn wenn man da, wo die Durchgänge ſchiefwinklig ſind, die Achſen ſtatt rechtwinklig zu nehmen, perpendiculär auf den Durchgängen nimmt, und man ſetzt in einer Zone

ſtatt	011	01′1	010	001	(rechtwinklig)
	010	001	011′	011	(ſchiefwinklig)

ſo erlangt man

ſtatt	031	051	071	053	021	(rechtwinklig)
	021′	032′	04′3	04′1	031	(ſchiefwinklig).

Die ſcheinbar abnorme Reihenfolge der Normalen wird alſo ebenfalls normal. Kryſtalle von verſchiedenen Grundverhältniſſen, aber gleicher Ausbildung, gehören alſo nicht zu den Seltenheiten. Man darf, wo ſich eine ſolche Aehnlichkeit bei den üblichen Bezeichnungsweiſen gefunden hat, nicht an eine innere Verwandtſchaft, eine neue Art von Iſomorphie denken. Vielmehr haben, einige Unterſchiede ausgenommen, welche von den Verſchiedenheiten der Winkel und der Hemiedrie herrühren, alle Kryſtalle aller Familien dieſelbe Ausbildung, ſobald man von den Durchgängen ausgeht. Man erkennt dieſes am beſten bei der oben (§. 20.) angedeuteten Bezeichnungsweiſe, wo man die Normale durch Perpendikel beſtimmt, welche auf die als Achſen genommenen Kanten der Grundform gefällt werden.

§. 42. Wenn die Uebereinstimmung der Ausbildung mit den Durchgängen ganz erwiesen wäre, so könnte man sie an die Stelle derselben in die Charakteristik setzen, wodurch diese einfacher würde und sich nur auf krystallographische Bestimmungen, das Grundverhältniß und die Ausbildung, stützte. Man würde finden, daß diese beiden Momente vollkommen hinreichen, die Krystallreihe zu charakterisiren, indem die physischen Unterschiede in den verschiedenen Richtungen des Krystalls, die Durchgänge eingeschlossen, als eine Function des Formellen angesehen werden können. Indessen so unvollständig unsre Kenntniß der Durchgänge ist, so ist es die, welche wir von der Ausbildung haben, in einem noch höhern Grade, so daß die Charakteristik der meisten Krystalle schwankend sein würde, wenn man sie auf die Ausbildung stützen wollte. Sie ist daher bis jetzt noch unzulänglich, die Durchgänge zu ersetzen *).

§. 43. Die Flächen der Durchgänge sind jedoch nicht die herrschenden. Nur wenn ein Durchgang die übrigen an Intensität weit übertrifft, pflegt er der Hauptfläche des tafelartigen Krystalls parallel zu sein. Sonst sind es in der Regel die Abstumpfungen der Kanten und Ecken, also 110 und 111, die Coefficienten positiv und negativ, die am häufigsten] vorkommen. So ist es bei den sehr reichen Gattungen des Kalkspathes, des Feldspathes, der Blende, selbst bei dem Gyps u. v. a.

---

*) Schon Hauy nahm die Flächen seiner Grundform den Durchgängen parallel. Mohs hat stets eine geschlossene, von den Durchgängen ganz unabhängige Gestalt als Ausgangspunct seiner Reihen, und wo dieses, wie in den monoklinischen und triklinischen Systemen, nicht möglich war, supplirt er das Fehlende entweder nach dem Princip der Hemiedrie, oder er setzt seine Grundform aus zwei oder mehreren Flächengruppen von ziemlich gleicher Lage zu den Achsen zusammen. Dieses Verfahren, welches bei Mohs nothwendig ist, ist bei denen, welche seine Methode, die Flächengruppen aus einander abzuleiten, nicht annehmen, ganz überflüssig. Kobell, der Naumanns Bezeichnungsweise angenommen hat, erklärt es für ganz zweckmäßig, bei der Wahl der Grundformen vorzüglich die Durchgänge zu berücksichtigen; doch könne dieses nur geschehen, wenn es geschlossene Gestalten sind. Im entgegengesetzten Falle würde man eine Menge von Mineralien für gleich krystallisirt halten müssen, die es nicht sind (Schweigg. Journ. 1834. II. p. 83.). Warum das?

Das Grundverhältniß und die Durchgänge.

§. 44. Zwischen den Durchgängen und den Werthen der Achsen scheint ebenfalls ein naher Zusammenhang statt zu finden. In dem tetragonalen Systeme ist das Grundverhältniß kleiner wie 1, wenn der Hauptdurchgang basisch ist, und größer wie 1, wenn er prismatisch ist, z. B. Uranit, Calomel, Tellurglanz, Apophyllit; andrerseits Zirkon. Nur die wenig bekannten Species Humboldtilith und Strontianhydrat scheinen hier eine Ausnahme zu machen.

Im hexagonalen Systeme ist fast überall basischer Durchgang und A kleiner wie 1. Bei dem Daryn und dem schwefelsauren Eisen sind prismatische Durchgänge und A größer wie 1.

In dem rhomboedrischen Systeme ist ebenfalls neben einem basischen Durchgange die Grundform stumpf.

Dasselbe findet sich fast ohne Ausnahme in der Familie des rhombischen Systems, welche rechtwinklige Durchgänge hat. Dem schwächern Durchgange entspricht in der Regel die größere Dimension, oder mit andren Worten: der Durchgang ist der Abstumpfung der scharfen Kante des gewöhnlichen Prisma's oder den scharfen Ecken des Oktaeders parallel.

Bei schiefwinkligen Durchgängen treten andre Verhältnisse ein. Zwar ist auch hier ein Nebendurchgang häufig der kleinen Achse parallel; allein nicht selten geht er nach der Abstumpfung der stumpfen Kante, und dieses scheint grade dann der Fall zu sein, wenn der Winkel größer ist, als 120°, z. B. bei der Hornblende u. v. a.

§. 45. Wenn sich auch bei der großen Ungewißheit, die in vielen Krystallen über die Lage und Durchgänge schwebt, und bei dem Willkürlichen in der Wahl der Grundverhältnisse, über ihr Verhalten nichts mit Gewißheit behaupten läßt, so können doch folgende Sätze für wahrscheinlich gelten:

1. Wenn die Durchgänge rechtwinklig sind, so ist der Hauptdurchgang der Abstumpfung der scharfen Ecken oder Kanten der übrigen Hauptflächen parallel.

2. Wo die Hauptdurchgänge schiefwinklig sind, ist es bald die schärfere, bald die stumpfere Kante, welche einen stärkern Nebendurchgang hat. Das letzte tritt um so leichter hervor, je stumpfer das Prisma ist.

3. Es ist in der Regel die kleinste Dimension, welche in der

Ausbildung mit dem größten Coefficienten vorkommt. Die größte Dimension hat selten einen größern Coefficienten als 1, so daß die Prismen, welche die scharfe Kante des Hauptprisma's zuschärfen, zuweilen viel stumpfer sind als das Hauptprisma selbst.

III. Isomorphie.

§. 46. In den einer Gattung angehörigen Krystallreihen ist die Bildungskraft gleichartig, ja fast von gleicher Intensität; denn die Abweichungen zwischen den Winkeln sind bei isomorphen Körpern unbedeutend gegen die Unterschiede zwischen verschiedenen Gattungen und für die Beobachtung oft verschwindend. Sie mögen nun von dem Hinzutreten einer neuen Kraft herrühren oder von einer Modification in der ursprünglichen Bildungskraft selbst; man kann diese, wie es in der Mechanik oft geschieht, in zwei Theile zerlegen, den ersten Theil, der für alle Körper der Gattung gleich ist, den zweiten nach den Species verschieden. Dieser, der nur kleine Unterschiede in den Winkeln hervorbringt, wird sich auf einfachere Gesetze zurückführen lassen. Allein auch hierzu sind sehr genaue Beobachtungen nöthig. Bis jetzt hat man aber in der Krystallographie, wie in jeder erst beginnenden Naturwissenschaft, nur auf die Aehnlichkeit unter den isomorphen, nicht auf ihre Verschiedenheit geachtet. Diese liegt gewöhnlich erst in der dritten Decimale von dem Logarithmus des Grundverhältnisses, wo eine Einheit etwa 4 Minuten im Winkel beträgt, eine Größe, die nur in sehr wenigen Krystallreihen zuverlässig ist. Nur bei wenigen Gattungen kann man sich daher auf die Größe der krystallographischen Unterschiede in den Gattungen verlassen.

Diese können nach zwei Seiten betrachtet werden: erstlich nach ihrem absoluten Werthe; zweitens nach dem Verhältnisse, in welchem die verschiedenen Dimensionen sich ändern.

§. 47. Was die absoluten Größen der Variationen betrifft, so werden sie dem Anscheine nach um so größer, je größer das Grundverhältniß selbst ist. Man findet nämlich bei Körpern, über deren Isomorphie kein Zweifel herrscht, weit kleinere Differenzen, wenn das Grundverhältniß sich der Gleichheit nähert, als wenn zwischen den Werthen der Achsen eine große Verschiedenheit statt findet.

§. 48. In der Reihenfolge der Krystallreihen einer Gattung

nimmt man eine große Regelmäßigkeit wahr. Die kryſtallographiſch einachſigen Kalkverbindungen z. B. haben immer eine verhältnißmäßig größere Hauptachſe als die ihnen iſomorphen Bleiverbindungen. Antimon eine größere Achſe als Arſenik. Arſenikſäure eine größere als Phosphorſäure, ſo daß ſich folgende Reihen bilden, von den Kryſtallen mit der größeren Achſe anfangend:

In den einachſigen Kryſtallen:

Fe, Mn, Zn, Ca, Pb.	Kalkſpath u. ſ. w. Gruppe.
Sb, As.	Arſenikſilberblende.
Sb, Te, As.	Metalliſch Arſenik.
Ca, Pb.	Apatit.
Ka, Ammon.	Saures phosphorſaures Ammoniak.
Cr, Se, S.	Schwefelſaures Silberoxyd-Ammoniak.
Al, Fe, Ti?	Korund.
Ti, Sn.	Zinnſtein.
Mo, Wo.	Schwerſtein.
As, P.	Apatit.

In den rhombiſchen Kryſtallen iſt die Reihenfolge, wenn man von dem größten der drei Verhältniſſe ausgeht:

Sr, Pb, Ba.	Barpt.
Ba, Pb, Sr, Ca.	Aragonit.
Ka, Ba.	Harmotom.
Ka, Ammon.	Schwefelſaures Kali.
As, S.	Speerkies.
S, Se.	Schwefelſaures Silber.
Ag, Na.	Schwefelſaures Silber.
Ni und Zn, Mg.	Schwefelſaurer Nickel.
Ma, Cr, Se, S.	Schwefelſaures Kali.
Mn, Cl.	Uebermangaſaures Ammoniak.

Alle ziemlich übereinſtimmend. In der Structur des Aragonits iſt die Reihenfolge umgekehrt, aber die Glieder folgen einander in derſelben Ordnung.

Würde man die Reihen verbinden, ſo hätte man

Fe, Mn, Zn, Ca, Sr, Pb, Ba.
Cr, Se, S.
Al, Fe, Ti.
Sb, Te, As, P.

Dieselbe Reihefolge findet sich in der relativen Ausdehnbarkeit durch Wärme, die in der Kalkspathgruppe beobachtet ist, und in der Härte vor.

Ich verkenne das Ungewisse dieser ganzen Zusammenstellung nicht und will keinesweges für die Richtigkeit des angegebenen Resultates bürgen; aber daß, wenn die Beobachtungen genau sind, sich auf diesem Wege ein für die Krystallbildung bedeutendes Resultat werde finden lassen, wird durch die mitgetheilten Beispiele sehr wahrscheinlich.

§. 49. Was die zweite Frage, die relative Aenderung der Werthe verschiedener Achsen und Winkel betrifft, so sind die einachsigen Systeme dabei ohne Einfluß. Am meisten entscheidend sind die triklinischen und monoklinischen Systeme, wo die Grundform 5 oder 3 von einander unabhängige Glieder enthält. Aber auch die rhombischen Systeme bieten Gelegenheit zur Beantwortung jener Frage dar. Es findet sich nämlich ein gewisses Gesetz in der Art, wie die Achsen in isomorphen Krystallreihen sich verändern. Wenn

$$a \quad b \quad c,$$
$$a \quad mb \quad nc,$$
$$a, \quad m,b, \quad n,c,$$

die Verhältnisse der drei Werthe sind, so ist

$$m : m_1 \text{ beinahe} = n : n_1.$$

Bei der Barytgruppe z. B. steigen und fallen alle drei Werthe immer gleichzeitig; bei der Aragonitgruppe mit einigen kleinen Schwankungen ebenfalls, bei andren Krystallgattungen bleibt einer der drei Werthe constant, während die andren beiden sich gleichmäßig ändern. Ich werde weiter unten auf die Ursachen dieser Variationen zurückkommen.

Dritter Abschnitt.

Krystallophysik.

§. 50. Die physischen Erscheinungen in den Krystallen sind absolut oder relativ. Die relativen sind abhängig von den Winkeln, welche die Richtung, in der man sie wahrnimmt, mit den Krystallachsen macht; die absoluten dagegen bloß von der Beschaffenheit des Krystalls ohne Rücksicht auf die Neigungen. Die Krystall-

form ſelbſt gehört zu den rein relativen, das ſpecifiſche Gewicht zu den rein abſoluten, die übrigen Eigenſchaften, von denen man die Elaſticität, die Cohärenz, die ungleichförmige Ausdehnung durch die Wärme, die Lichtbrechung und einige elektriſche beobachtet hat, ſind gemiſcht.

Die gemiſchten Eigenſchaften kann man, wie in der Mechanik die Bewegungen der Körper, in einen abſoluten und in einen relativen Theil zerlegen. Jener iſt der mittlere Werth im Kryſtall, z. B. die Ausdehnung eines Stabes durch Wärme, diejenige, welche ein Körper haben würde, der aus einer ſehr großen Anzahl, nach allen Richtungen hin zerſtreuter, aber ſtetig verbundener Kryſtalle beſteht. Der relative Theil iſt dagegen die Differenz der in einer jeden Richtung ſtattfindenden Ausdehnung von der mittlern. In einigen Fällen iſt es zweckmäßig, als abſoluten Theil etwas andres als den mittlern Werth des ganzen Kryſtalles anzunehmen, z. B. bei der Brechung des Lichtes; aber jene Sonderung eines abſoluten und eines relativen Theiles kann nirgends entbehrt werden.

§. 51. Die relativen Eigenſchaften ſind ferner entweder elementar oder reſultirend. Der Charakter der erſten iſt, daß ſie ſprungweiſe auftreten, von einer Richtung zur benachbarten ſich plötzlich ändern, z. B. die Flächenbildung. [110] = [100. 100. 0] iſt eine der gewöhnlichſten Flächen; [101. 100. 0] kommt niemals vor. Die reſultirenden dagegen ſind Functionen der Richtungen und nähern ſich allmälig ihren Maxima und Minima, z. B. die Elaſticität, die Lichtbrechung.

Man darf daher die elementaren Eigenſchaften für weniger mittelbare Wirkung der in einer Linie des Kryſtalls wirkenden Kräfte halten, als die reſultirenden. Bei der Elaſticität z. B. iſt es unmöglich, die Lage der Theile in einer Richtung zu verändern, ohne eine entſprechende Veränderung von benachbarten Richtungen hervorzurufen. Die Reaction des Kryſtalles gegen äußere Thätigkeiten iſt daher die Summe von Kräften, die in mehrern Richtungen wirken. Indeſſen iſt es keineswegs nothwendig, daß die elementaren Eigenſchaften von den in einer Richtung wirkenden Kräften ausſchließlich abhängen.

I. Elementare Erſcheinungen.

§. 52. Die elementaren Eigenſchaften in Kryſtallen hat die Atomiſtik mit großem Erfolge zu erklären verſucht, und in der

That findet sie nächst der Proportionslehre der Chemie ihre Hauptstütze in der Krystallkunde.

Hauy schichtete seine Krystalle aus Molekeln auf, deren Form er durch die Spaltungsfläche bestimmte. Der Raum wurde dabei in der Regel vollständig ausgefüllt, und wo dieses nicht der Fall war, wußte er mit ziemlichem Glücke die Consequenz seiner Lehre zu behaupten. Krystallflächen und Durchgänge gehen aus Hauy's Grundsätzen mit Nothwendigkeit hervor und die übrigen Erscheinungen im Krystall widersprechen ihnen nicht. Indessen kann die Atomistik keine sich berührenden Molekeln zulassen. Sie müssen vielmehr durch Intervalle getrennt sein, gegen welche ihre Größe unmerklich wird. Diese Intervalle verändern sich durch äußere Kräfte auf verschiedenartige Weise. Um die Verschiedenheiten der Kräfte nach verschiedenen Richtungen zu erklären, ist man daher genöthigt, in die Hypothese zwei Elemente aufzunehmen, erstlich eine bestimmte Gestalt der Molekeln, zweitens eine ungleiche Entfernung nach verschiedenen Seiten. Dadurch wird sie zusammengesetzter und willkürlicher. Eine Hypothese, welche die Erscheinungen im Krystall sehr gut darstellt und zugleich mit dem, was man aus andren Theilen der Physik weiß, im Einklange steht, ist folgende:

§. 53. 1) Der feste Körper besteht aus Theilchen, welche durch Zwischenräume von einander getrennt sind. Für die Krystallographie braucht man sich über die Gestalt der Theile und die verhältnißmäßige Größe der Intervalle, und ob die flüssigen und gasförmigen Körper ebenfalls aus solchen Theilen bestehen, nicht auszusprechen. Indessen würde ich vom atomistischen Standpuncte aus die Theilchen als mathematische Puncte, bloß als Sitz der Kräfte ansehen.

2) In den krystallisirten Körpern liegen die Theilchen völlig symmetrisch neben einander, d. h. wenn man von zwei Theilchen im Innern des Krystalls parallele Linien zieht, so wird, wenn von dem einen ein Theilchen getroffen wird, auch von dem andern ein Theilchen nach einem gleichen Intervalle getroffen werden. Der zweite Satz wird von jedem angenommen werden, der den ersten zugiebt.

Diese beiden Sätze sind äußerst fruchtbar. Obgleich sie keine Grundformen zulassen, geht aus ihnen dennoch mit Nothwendigkeit nicht nur das hervor, was Hauy aus seiner Lehre ableitete, son-

dern auch daß nur 15 Kryſtallfamilien möglich ſind, welche den ſechs bekannten Klaſſen angehören. Die Familien entſprechen dem von mir §. 31. aufgeſtellten Begriffe. Sie kommen ſämmtlich und ausſchließlich vor und die Abweſenheit von mehrern Formen z. B. eines regulären Dodekaeders, eines regelmäßigen 8ſeitigen Prisma's von gleichen Flächen, wofür Hauy keinen Grund angeben kann, wird ſtreng erwieſen *). Aber es ergiebt ſich auch aus ihnen, daß eine Kryſtallreihe, wo ſich zwei einander gleiche Hauptdurchgänge von 120° finden, hexagonal werden müſſe, daß ein Rhomboeder mit den Winkeln des Oktaeders oder Rhombendodekaeders niemals ſelbſtſtändig, ſondern nur im teſſeralen Syſteme vorkommen könne und andres ähnliche mehr. Bis jetzt hat man auch wirklich keine ſolchen Prismen oder Rhomboeder beobachtet, vielmehr findet ſich, daß wo ſich zwei prismatiſche Durchgänge von nahe 120° finden, auch die Abſtumpfung der ſcharfen Kanten einen guten Durchgang hat. Hier wäre alſo ein Punct, wo die Erfahrung zwar nicht für die Richtigkeit meiner atomiſtiſchen Hypotheſe, aber doch gegen ſie entſcheiden könnte.

Es erſcheint mir nicht paſſend, die Hypotheſe ſelbſt hier vollſtändig zu entwickelen. Ich betrete das ſchlüpfrige Gebiet ſolcher Hypotheſen nur ungern und bin überdieſes von der Wahrheit des des erſten Satzes keineswegs überzeugt. Ein großer Theil der Naturforſcher hält ihn jedoch für evident, und dieſe werden, wenn ſie conſequent verfahren, die Reſultate erlangen, die ich kurz angedeutet habe.

§. 34. Ich bedaure es ſehr, dieſer Hypotheſe keine andre an die Seite ſetzen zu können, welche, auf der Stetigkeit der Materie beruhend, zu gleich wichtigen Reſultaten führte. Ein Gedanke, der ſich vielleicht einem jeden dargeboten hat, der ſich von dem Proceſſe der Flächenbildung eine von dynamiſchen Principien ausgehende Vorſtellung machen wollte, iſt der, daß in dem Kryſtall nur in gewiſſen Richtungen Kräfte wirken; wir wollen ſie elementar nennen; und daß alle in andren Richtungen wirkenden, nur aus dieſen hervorgegangen, reſultirende ſind. In einigen Kryſtallreihen z. B. ſind die elementaren Kräfte den Würfelnormalen parallel.

*) Die Abweſenheit dieſer und ähnlicher Formen iſt auch ein Reſultat des Geſetzes der Rationalität, wie ich es §. 8 ausgeſprochen habe.

Die Würfelflächen sind ihre unmittelbaren Producte; die Oktaeder- und Dodekaederflächen sind Resultanten von zwei oder drei Würfelnormalen und die übrigen Flächen wiederum Resultanten dieser secundären Kräfte unter einander und der elementaren. Eben so könnte man in allen andren Krystallklassen die Kräfte in den Richtungen der Normalen 110 oder 111, und überhaupt in jeder Richtung abc auf die elementaren, in den Achsen des Krystalles 100, 010 und 001 thätigen reduciren. Ich selbst hatte früher diese Ansicht und habe sie vor mehreren Jahren öffentlich ausgesprochen, aber ohne neue gewagte Hypothesen ist sie mit den Erscheinungen in mehrern Krystallfamilien und namentlich denen des hexagonalen Systems durchaus nicht zu vereinigen.

II. Elasticität.

§. 55. Unter den physikalischen Erscheinungen der Krystalle betrachten wir hier nur diejenigen, welche von der Cohäsion unmittelbar abhängen, also die Elasticität und die Cohärenz. Die mit der Cohäsion verbundene ungleichförmige Ausdehnung durch Wärme und die Doppelbrechung des Lichts berühren wir nur ganz kurz. Andre, wie die Bildung einer elektrischen Polarität, übergehen wir hier gänzlich.

Die Elasticität zeigt sich unter sehr verschiedenen Gestalten. Wir beginnen mit der einfachsten Art ihres Auftretens.

a. Compression.

§. 56. In einem allseitig mit gleicher Stärke gedrückten Körper bleiben alle Theile in einer graden Linie oder einer Ebene, die vor dem Drucke darin waren; allein die relativen Größen der Linien und die Neigungen werden geändert. Der Körper ist ein Krystall geblieben, allein ein Krystall mit andren Dimensionen. Er habe ohne Druck die Gestalt einer Kugel. Ein Querschnitt durch den Mittelpunct der Kugel wird im Allgemeinen durch den Druck seine Lage ändern und aufhören, ein Kreis zu sein. Jeder Radius erleidet eine dreifache Veränderung: erstlich innerhalb der Ebene, zweitens in einer auf die Ebene perpendiculären Richtung, drittens in seine Länge. Die Linien, welche die größten und die kleinsten Veränderungen erleiden, verändern ihre Lage innerhalb der Ebenen nicht, und drei Linien im Krystall, von

welchen zwei die größte und kleinſte Veränderung erfahren, behalten ihre Lage gänzlich bei. Sie ſind darin den Knotenſtellen bei Schwingungen gleich, die ſelbſt in Ruhe bleiben, aber die ſtärkſte Spannung zu erleiden haben. Dieſe drei Linien können Elaſticitäts-Achſen, oder um Verwechſelung zu vermeiden, akuſtiſche Achſen heißen. Wenn ihre Lage, ihre Größe und ihre Veränderungen bekannt ſind, ſo kann man leicht die Veränderungen berechnen, welche jede andre Linie erfährt.

§. 57. In den Kryſtallſyſtemen mit rechtwinkligen Achſen fallen die akuſtiſchen mit den kryſtallographiſchen zuſammen. In dem teſſeralen Syſteme werden die relative Lage und Größe der Linien gar nicht geändert. Sie verhalten ſich gegen die Druckkräfte wie bei Körpern ohne Unterſchiede in der Cohäſion. Achſenloſe Kryſtalle.

In den tetragonalen und hexagonalen Syſtemen hängen alle Veränderungen einer Linie von dem Winkel zur kryſtallographiſchen Hauptachſe ab und ſind in zwei Linien, deren Neigung gleich iſt, ebenfalls gleichförmig. Einachſige Kryſtalle.

In dem rhombiſchen Syſteme laſſen ſich alle Veränderungen als Functionen von zwei Winkeln anſehen, welche eine Richtung mit zwei in dem Kryſtalle feſten Linien macht, etwa mit zwei kryſtallographiſchen Achſen. Von den Kreiſen, die durch den Mittelpunct eines kugelförmigen rhombiſchen Kryſtalls gelegt werden können, behalten nur die durch die Achſen gelegten ihre Lage, und nur zwei andre, durch die mittlere der 3 rechtwinkligen Achſen und eine andre ihr an Elaſticität gleiche Linie gelegten Kreiſe behalten ihre Geſtalt bei. Zweiachſige Kryſtalle.

Daß auch in dem monokliniſchen und triklinischen Syſteme die Linien, welche die kleinſten und größten Veränderungen in der Größe erfahren, ſenkrecht auf einander ſtehen und in Verbindung mit einer dritten ſenkrechten Achſe die den dem rhombiſchen Syſteme erwähnten Eigenſchaften haben, iſt bis jetzt weder durch Rechnung noch durch den Verſuch erwieſen. Sollte dieſer Beweis aber einmal geführt werden, ſo hätten die akuſtiſchen Achſen gar keine merkwürdige Zuſammenhang mit der Kryſtallform, da in beiden Syſtemen drei auf einander ſenkrechte Richtungen oder Kanten vorhanden ſind.

b. Schwingungen von Krystallscheiben.

§. 58. Wir besitzen nicht einen einzigen Versuch über die Wirkungen eines allseitig gleichen Druckes auf Krystalle. Nur über die Schwingungen von Krystallscheiben haben wir einige Versuche von Savart. Er nahm sie rund, von gleichen Dimensionen und beobachtete ihre tiefsten Töne und die Knotenlinien dabei. Er konnte auch die Größe und Dicke der Platten mit hinlänglicher Genauigkeit messen und den Versuch so oft wiederholen, daß die Fehler einzelner Beobachtungen verschwinden; allein die Theorie kommt hier der Beobachtung nicht zu Hülfe. Es ist bis jetzt unmöglich, aus diesen Schwingungen mit mathematischer Schärfe die Lage und Größe der Elasticitätsachsen in den Krystallen abzuleiten, obgleich sie vielleicht schon durch eine einzige Beobachtung der Knotenlinien gegeben werden. Man kann daher nur dadurch ein Resultat aus den Angaben von Savart erfahren, daß man seine Beobachtungen an Krystallen mit denen vergleicht, welche an andren besser bekannten Körpern angestellt sind.

§. 59. Savart fand nämlich zuerst am Holze Anomalien, die bei gleichförmigeren Körpern im geringern Grade oder gar nicht vorhanden sind. Erregt man in einer runden Scheibe von Glas den tiefsten Ton, den sie hervorbringen kann, so ist die Knotenfigur ein Kreuz von zwei rechtwinkligen Diametern, welche symmetrisch um den unmittelbar erschütterten Ort liegen. Die Lage des Kreuzes verändert sich daher mit dem erschütterten Orte, der Ton aber bleibt derselbe. Sucht man dagegen den tiefsten Ton einer runden Holzscheibe zu erlangen, so findet man abweichende Erscheinungen. Savart hatte sich durch die Schwingungen von Holzstäben überzeugt, daß das Holz parallel der Achse des Baumes die stärkste Elasticität habe, und in der Richtung eines Radius die schwächste. (Siehe Elasticität der Festen § 41.) Nahm man nun aus einem dicken Baume eine von der Achse des Baumes möglichst weit entfernte Scheibe, so werden die Jahresringe beinahe zu graden Linien, und man konnte annehmen, daß die Hauptrichtungen der Elasticität in allen Theilen der Scheibe parallel und auf einander senkrecht seien. Solcher Scheiben hatte nun Savart mehrere, alle von gleichen Dimensionen, aber von verschiedenen Richtungen gegen die Achse des Baumes und die Tangente der Jahresringe geschnitten.

In diesen Scheiben fand er statt des veränderlichen Kreuzes in der Regel zwei Paar hyperbolischer Linien von unveränderlicher Stellung die von dem erschütterten Orte nur in so fern abhängig sind, als bald das eine, bald das andre Paar als Knotenlinie erscheint; die Töne, die beiden Paaren zugehören, sind verschieden.

Sobald eine der drei Hauptachsen in der Ebene der Tafel ist, verwandelt sich eins der Hyperbeln-Paare in ein rechtwinkliges diametrales Kreuz, welches mit den Achsen der andren Hyperbeln zusammenfällt, so daß die Querachse derselben stets der Projection der Richtung der stärksten Elasticität des Holzes auf die Flächen der Scheiben parallel läuft. Haben beide hyperbolische Achsen eine gleiche Elasticität, was bei einer der Scheiben, in deren Ebene die mittlere Elasticitätsachse liegt, der Fall ist, so wird auch die zweite Hyperbel zum Kreuz; allein die Töne beider Kreuze sind verschieden. Bei Scheiben, welche durch die mittlere der drei rechtwinkligen Achsen und eine andre Linie gehen, die in der Ebene der größten und kleinsten Achse liegt und in ihrer Elasticität der mittleren Achse gleich zu sein scheint, werden die Töne beider Knotenlinien einander gleich und die Hyperbeln können, wie bei homogenen Scheiben das Kreuz, unendlich viele von dem Orte der Erschütterung abhängige Lagen annehmen.

§. 60. Diese Erscheinungen sind denen bei der Doppelbrechung des Lichtes so ähnlich, daß Savart auch in den Krystallen die Elasticität auf gleiche Weise beobachten wollte. Vermuthlich wurde er durch diese Betrachtung auch in die Wahl der Krystalle geleitet, die er der Prüfung unterwarf. Er nahm Quarz und Kalkspath, beides Körper, deren optische Eigenschaften gut bekannt sind. Diese Wahl ist nicht glücklich zu nennen. Der Quarz, den er am genauesten untersuchte, hat eine eigenthümliche, sehr anomale Bildung. Seine vorher bestrittene Structur ist sogar erst durch Savart's Versuche als rhomboedrisch erkannt. Bei dem Kalkspath sind nur wenige Beobachtungen angestellt und auch bei ihm darf man nicht von rechtwinkligen Dimensionen ausgehen. Es wäre besser gewesen, mit dem reflexalen Systeme anzufangen, welches in dem Flußspath, dem Bleiglanz und Alaun zu Versuchen geeignete Körper darbietet und dann zu Krystallen mit rechtwinkliger Structur überzugehen.

Ich habe alle Töne an Holz und an Krystallen, welche Savart auf die Weise der französischen Künstler angiebt, nach einer gleich

schwebenden Temperatur von 21 Intervallen berechnet und durch empirische Formeln zusammengefaßt. Allein ich trage Bedenken, sie hier mitzutheilen, denn empirische Formeln sind keine Naturgesetze; sie dienen bloß zur Interpolation, und dürfen, so oft es auch von den rechnenden Physikern geschieht, unter keiner Bedingung über die Grenzen der Beobachtungsreihen ausgedehnt werden.

Auch die Analogie mit Holz ist unvollständig. Dort ist in einer Richtung das Maximum der Elasticität, in einer andren das Minimum und zwischen ihnen sind wahrscheinlich allmälige Uebergänge. Bei den beiden untersuchten Krystallen ist es anders. Hier sind in den auf die Hauptachse senkrechten Ebenen drei Maxima, und die Verhältnisse der Cohäsion weit weniger einfach. In der That werden bei dem Holze die Töne beider Hyperbeln fast immer zu gleicher Zeit höher und tiefer, und die Maxima oder Minima von beiden Tönen fallen auf dieselben Scheiben. Bei den Krystallen dagegen ist die Reihenfolge der Töne eine ganz verschiedene und derjenigen, die beim Holze stattfindet, nicht selten ganz entgegengesetzt.

§. 61. Indessen gehen doch einige Resultate aus Savart's Versuchen hervor.

1) Die Unterschiede der Elasticität ändern sich in einem weit stärkern Verhältnisse, als die Dimensionen. Savart fand den Unterschied in der Höhe des Tones, den transversalschwingende, in verschiedenen Richtungen aus dem Baume geschnittene Fichtenstäbe hervorbrachten, zwei Octaven groß, d. h. 1 : 4. Dieses weiset auf Elasticitäten hin, die sich wie 1 : 16 verhalten. In runden Scheiben aus demselben Material, die sehr verschiedene Richtungen zum Baume hatten, fand er unter den tiefsten Tönen, die sie geben konnten, 1,77 als den höchsten, wenn 1,00 der tiefste ist.

Bei Quarz war in Scheiben von gleichen Dimensionen, deren Hauptflächen in der verticalen Zone der doppelt sechsseitigen Pyramiden lagen, das Verhältniß des tiefsten Tones zu dem höchsten, wie 1,00 : 1,52. In einer anders geschnittenen Scheibe, war ein Ton = 1,62.

In Kalkspath war dasselbe Verhältniß in der verticalen Zone der Rhomboederflächen 100 : 1,75, also beinahe dem im Holze gleich, obgleich der Krystall nur in wenigen Richtungen untersucht wurde. Wenn man daher aus diesen Krystallen dünne Stäbe in

verſchiedenen Richtungen ſchneiden wollte, was im Kalkſpath ſchwierig, im Quarz leicht wäre, ſo würde man wahrſcheinlich nicht viel kleinere Unterſchiede finden, als im Holz. Das Grundverhältniß (§. 37.) der von Savart unterſuchten eiſenhaltigen Varietät iſt ungefähr 1,70. Bei Kryſtallen von ſtärkeren Grundverhältniſſen ergeben ſich wahrſcheinlich noch größere Unterſchiede.

§. 62. 2) Man darf nicht unmittelbar die oben (§. 56 und 57.) aufgeſtellten Geſetze auf die Kryſtalle übertragen, deren Elaſticität man durch Schwingungen aufſucht.

Man hätte nämlich erwarten ſollen, daß im Quarz ſowohl, als im Kalkſpath, welche den einachſigen Syſtemen angehören, die Schwingungen von Scheiben, welche gleiche aber entgegengeſetzte Neigungen zur Achſe haben, mit einander übereinſtimmen würden. Allein aus Savart's Beobachtungen ergiebt ſich eine große Verſchiedenheit. In der folgenden kleinen Tabelle bedeutet der Winkel die Neigung zur Achſe, und $\pm$ die beiden entgegengeſetzten Lagen der Scheiben. Beim Kalkſpath iſt $\pm$ die Lage des Durchganges. Die Neigung der Hauptfläche der Quarzpyramide zur Achſe iſt etwa 38°, des Kalkſpathrhomboeders nach Savart's Angabe 45° 23′.

Die beiden erſten Zahlen ſind die Töne der beiden Hyperbeln oder Kreuze, die dritte Zahl ihre Differenz. Die Schwingungszahl des tiefſten in dem Kryſtall beobachteten Tones iſt $=$ 1,00.

Im Quarz

$\pm$ 78°	1,14	1,07	$\pm$ 0,07
— 78°	1,03	1,14	— 0,11
$\pm$ 51°	1,50	1,00	$\pm$ 0,50
— 51°	1,00	1,18	— 0,18
$\pm$ 38°	1,52	1,08	$\pm$ 0,44
— 38°	1,00	1,22	— 0,22
$\pm$ 12°	1,44	1,10	$\pm$ 0,34
— 12°	1,14	1,14	— 0,00

Die Scheiben, welche den beiden ſechsſeitigen Prismen parallel ſind, haben ebenfalls verſchiedene Töne.

Im Kalkſpath

$\pm$ 45° 23′	1,64	1,10	$\pm$ 0,49
— 45° 23′	1,13	1,70	— 0,50

mit entgegengeſetzter Lage der Knotenlinien. Auch im tetragonalen Syſteme haben zwei verſchiedenen Pyramidenreihen parallele Schei-

ben wahrscheinlich verschiedene Töne. Im tesseralen Systeme, welches bei allseitig gleichem Drucke gar keine relative Veränderung erleiden würde, finden sich vermuthlich bei Scheiben, die nach verschiedener Richtung geschnitten sind, beträchtliche Unterschiede.

§. 63. 3) Zuletzt geht aus den Beobachtungen zwar nicht mit Zuverlässigkeit, aber doch mit Wahrscheinlichkeit hervor, daß die Flächen des Durchganges, oder der Grundform, mit dem Minimum der Elasticität übereinkommen. Es wäre wichtig, diesen Umstand fest zu stellen, weil er uns Aufschluß gewährt über das Verhältniß der Cohärenz zur Elasticität.

III. Veränderungen der Krystallform durch die Temperatur.

§. 64. Die Temperatur ändert das Volumen der Krystalle ab, aber das Wesen der Krystallform wird dadurch nicht verändert. Alle Puncte, die sich in einer geraden Linie oder einer Ebene befanden, behalten diese Lage in jeder Temperatur bei; die Durchgänge, die Krystallflächen bleiben eben; sonst würde man unter den vielen, oft bei weit höheren Temperaturen gebildeten Krystallen eine constante Krümmung wahrnehmen müssen; aber die Winkel und die Werthe der Achsen werden verändert.

Da die Wärme auf krystallographisch gleiche Linien gleichartig wirkt, so zerfallen die Krystalle, in Beziehung auf die Temperatur, in dieselben Abtheilungen, welche ich oben bei der Compression (§. 57.) angeführt habe, in *achsenlose*, die gar keine Veränderungen in den Winkeln erleiden; in einachsige, wo diese Veränderungen nur von der Neigung zu *einer* Hauptachse abhängig sind und in *zweiachsige*.

In den Krystallsystemen mit rechtwinkligen Achsen haben die krystallographischen Achsen auch eine symmetrische Lage zu den Wärmeerscheinungen, sie können also zugleich als *thermische Achsen* angesehen werden. In den monoklinischen und triklinischen Systemen sind die durch Wärme hervorgebrachte Veränderungen wahrscheinlich den Veränderungen durch allseitigen Druck in ihrem Verhältnisse zur Krystallform ähnlich, vielleicht sind beide identisch.

§. 65. Man hat bis jetzt nur bei dem Kalkspath und einigen der ihm isomorphen Krystallen, bei dem Aragonit und bei dem Gyps Beobachtungen über die Winkelveränderungen durch Wärme

angeſtellt. Der Kalkſpath nähert ſich durch Erwärmung dem Würfel und entfernt ſich von den iſomorphen Species. Bei dem Aragonit, deſſen Grundverhältniß B : A; C : A; C : B im Logarithmus

0,1586; 0,3652; 0,2066

iſt, werden dieſe 3 Zahlen in dem von Mitſcherlich angegebenen Beiſpiele durch Erwärmung um

0,0008; 0,0012; 0,0004

vermehrt. Auch bei dem Gyps wird durch Temperaturerhöhung der relative Werth [illegible] der der Fläche des Hauptdurchganges entſprechenden Normale vermindert. Es wird alſo in dieſen drei Kryſtallen der Unterſchied in den Werthen der Normalen vermehrt, oder da alle Normale verändert werden, die kürzeſte Normale durch die Wärme am meiſten verkürzt, und in der Kryſtallform die längſte Dimenſion am meiſten verlängert.

Die einzigen genauen Beobachtungen über dieſe Wirkungsweiſe der Wärme ſind von Mitſcherlich. Berl. Akad. 1825. p. 201. Pogg. Annal. 1827. X. p. 1.

Fresnel Pogg. Annal. 1824. II. p. 109 empfiehlt nach Mitſcherlich's Vorgange als Collegien-Verſuch zwei dünne Blätter Gyps mit gekreuzten Achſen auf einander zu leimen.

IV. Lichtbrechung in den Kryſtallen.

§. 66. Das Licht iſt ein ſehr empfindliches Prüfungsmittel für die Cohäſion der Körper. Jede Abweichung von der Continuität, die eine gewiſſe Grenze überſchreitet, jede Ungleichförmigkeit wird durch die Brechung und Zurückwerfung des Lichtes wahrgenommen. In den Kryſtallen ſind alle Erſcheinungen des Lichtes nach Flächen und Richtungen verſchieden. Der Polariſationswinkel, die Farbe, die Lichtabſorption hängen von der Richtung zu den Achſen ab. Selbſt der Glanz iſt ſowohl der Qualität als der Intenſität nach ungleich, und wenn wir nur ein genaues Maß für ihn hätten, ſo würden wir vielleicht zwiſchen allen kryſtallographiſch verſchiedenen Flächen eine Verſchiedenheit des Glanzes beobachten. *) Hier wollen wir uns jedoch nur mit der doppelten Brechung beſchäftigen.

*) So viel man auch in der mineralogiſchen Terminologie von dem Glanze ſpricht, ſo iſt ſeine Natur doch noch unbekannt. Wir wiſſen nicht, worin

Die folgende kurze Darstellung weicht zwar von der gewöhnlichen etwas ab, allein wie ich hoffe, nicht zu ihrem Nachtheile.

§. 67. Das Licht besteht, wie man sagt, in den Schwingungen eines überall verbreiteten Aethers, der durch die Verschiedenheit in seiner Elasticität die Unterschiede in der Größe der Wellen, der Brechungskraft und der Geschwindigkeit des Lichtes hervorbringt. Der Gang und die Polarisation des Lichtes in einem Körper hängt ab von der Beschaffenheit der auf den Stralen senkrechten Ebenen. Ist die Elasticität des Aethers in dieser Ebene gleichförmig, so bleibt der Stral unpolarisirt, findet aber ein Unterschied statt, so theilt er sich in zwei senkrecht auf einander polarisirte Strälen, von denen der eine [A] in seiner Brechung von dem Maximum der Elasticität in der Ebene abhängig ist, der andere [B] von dem Minimum derselben. A hat also ein stärkeres Brechungsverhältniß als B; ihre Polarisationsachsen stehen senkrecht auf einander.

In der Elasticität des Aethers finden Gesetze statt, die denen, welche wir bei der Elasticität der Krystalle §. 56. angeführt haben, ganz gleich sind. Es giebt drei Achsen, die in jeder Ebene, wo sie sich finden, die größte oder die kleinste Elasticität haben. Ferner zerfallen die Krystalle in drei Klassen, in achsenlose, einachsige und zweiachsige, je nachdem die Elasticität des Aethers gleichförmig ist, oder eine Function der Neigung gegen eine oder gegen zwei Achsen ist. Diese optischen Achsen stimmen mit den krystallographischen überein, wo diese rechtwinklig sind. In dem monokliniſchen und triklinischen Systeme ist ihre Lage unsymmetrisch.

§. 68. In dem tesseralen Systeme bleibt der Stral ungetheilt. In den zweiachsigen wird er, zwei einzelne Richtungen ausgenommen, stets in zwei polarisirte Stralen getheilt, deren Brechungsverhältniß von ihrer Neigung zu den Krystallachsen abhängt.

In den einachsigen dagegen hängt die Brechung des Lichtes

---

physikalisch der Unterschied von Fett-, Glas-, Demantglanz besteht. Selbst über den Perlmutterglanz, der schon die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich gezogen hat, ist man noch nicht im Klaren. Der Metallglanz ist nichts weiter als eine starke Reflexion ohne Durchsichtigkeit. Wasser oder Glas hat auf der Fläche seiner innern totalen Reflexion einen vollkommenen Silberglanz.

von der Elaſticität des Aethers ab, inſofern ſie in der Hauptachſe ein Maximum oder ein Minimum iſt. In dem erſten Falle haben alle durch den Kryſtall gelegte Ebenen daſſelbe Minimum; in dem zweiten Falle daſſelbe Maximum. Einer der beiden polariſirten Stralen hat daher ein von ſeiner Lage zum Kryſtall unabhängiges Brechungsverhältniß. Nennen wir dieſen Stral O und den andren E, ſo findet folgendes Geſetz ſtatt:

Wenn die Elaſticität des Aethers in der Achſe ein Maximum iſt, ſo iſt O = B, E = A. Wenn die Elaſticität des Aethers in der Achſe ein Minimum iſt, ſo iſt O = A, E = B.

Die Kryſtalle erſter Art heißen poſitiv, der andren negativ.

§. 69. Aus der Uebereinſtimmung zwiſchen der Kryſtallform und der Elaſticität des Aethers geht hervor, daß deſſen Vertheilung nicht unabhängig iſt von dem Gefüge des Kryſtalls und wahrſcheinlich eine Function deſſelben iſt. Wir können daher vom Aether ſelbſt ganz abſehen und bloß das Verhältniß aufſuchen, in welchem die Brechung des Lichtes zur Grundform ſteht. Ohne uns an dieſe bis jetzt unauflösliche Aufgabe zu wagen, können wir vielleicht die ſpeciellere Frage beantworten, in welchem Verhältniß die Größe der Elaſticität in Beziehung auf's Licht in den einachſigen Kryſtallen zu dem Grundverhältniſſe und den Durchgängen ſteht. Wir wollen hier nicht näher in die Unterſuchung eingehen. Allein aus den Beobachtungen über die Doppelbrechung ſcheint allerdings hervorzugehen, daß in den optiſch negativen Kryſtallen die Achſe eine kleinere Cohäſion, in den optiſch poſitiven Kryſtallen aber eine größere Cohäſion habe, als der Querſchnitt.

§. 70. Für die Richtigkeit der Anſicht, daß die Doppelbrechung und Polariſation des Lichtes eine unmittelbare Function der Cohäſion ſei, ſprechen auch die Verſuche, welche Brewſter an Glas, und andren Körpern angeſtellt hat. Er hatte ſie durch mechaniſche Kräfte oder durch ſchnelle Abkühlung in einen Zuſtand verſetzt, der zwar von der regelmäßigen Kryſtalliſation noch weiter entfernt iſt, als der gewöhnliche, allein weil auch in ſolchen Körpern die Cohäſion nicht nach allen Seiten gleich iſt, ähnliche Wirkungen auf's Licht hervorbringt, wie ein Kryſtall. Wird ein Glaswürfel durch Tafeln, die zwei horizontale Flächen des Würfels bedecken, comprimirt, ſo verhält er ſich zum Lichte, wie ein negativ einachſiger Kryſtall, und wenn in einem negativen Kryſtall die Achſe durch den Druck verſtärkt wird, ſo wird die Polariſation verſtärkt (Brewſter Philos.

Transact. 1816. p. 156.). Die perpendicularen Linien erlangen nämlich durch ihre Compression ein Streben sich auszudehnen, die horizontalen Richtungen durch ihre Dilatation ein Streben sich zusammenzuziehen. Indessen, so gewiß es ist, daß zwischen der Polarisation des Lichtes in Krystallen und Glas, und der Cohäsion ein nahes Verhältniß stattfindet, so ist man doch noch außer Stande, es quantitativ zu bestimmen.

§. 71. Die kreisförmige Polarisation des Lichtes im Quarze ist ein Beweis, daß das Licht selbst untergeordnete Verhältnisse der Krystallform in gewissen Verhältnissen anzugeben vermag. Bei rechts gewundenen Quarzkrystallen ist die Drehung der Polarisationsachse nach der einen Seite; bei links gewundenen nach der andern Seite. Wie diese Form auf das Licht einwirkt, ist zwar bis jetzt noch unbekannt, allein sie ist gewiß nicht so schroff von den übrigen Erscheinungen des Lichtes in Krystallen verschieden, als man anzunehmen pflegt. Man würde vielleicht, indem man mehr Körper des monokliniſchen und triklinischen Systems als bisher genau untersuchte, das von der Krystallform abhängige Glied auffinden, welches in die bis jetzt noch sehr einfachen Gleichungen aufgenommen werden muß.

§. 72. Kein andrer Krystall, auch der Apatit nicht, hat die Hemiedrie, welcher der Quarz jene Wirkung auf's Licht verdankt. Auch findet man die kreisförmige Polarisation bei keinem andren Krystalle. Dagegen wird sie noch bei Körpern beobachtet, bei welchen man sonst keine Unterschiede nach verschiedenen Richtungen wahrnimmt, nämlich bei einigen Flüssigkeiten. Biot hat eine ähnliche nur weit schwächere Wirkung beobachtet: in Oel, Rohrzucker, Traubenzucker, Gummi, Dexterin (Amidin), von denen einige die Polarisationsachsen rechts, die andren sie links drehen. Auch im Terpentinöldampf glaubt Biot eine ähnliche Wirkung wahrgenommen zu haben.

Soll man annehmen, daß in diesen Flüssigkeiten, die sämmtlich organischen Ursprunges sind, krystallinische Theilchen schwimmen? oder findet sich in der Flüssigkeit selbst ein Unterschied in der Cohäsion nach verschiedenen Richtungen? oder ist endlich die Drehung der Polarisationsachse ganz unabhängig von der Cohäsion? Eine vierte Erklärungsart ist nicht wol möglich. Aber die dritte würde uns den einzigen Stützpunct rauben, den wir für die Erklärung

der Lichterſcheinungen haben; die zweite iſt unzuläſſig. Die erſte hat noch am meiſten für ſich, allein ſie iſt ebenfalls gewagt. Hat man wol ſchon das bei der Kieſelfeuchtigkeit gebildete Waſſer, in welchem ſich feine Kieſeltheilchen lange Zeit ſchwebend erhalten, dem polariſirten Strale ausgeſetzt?

V. Cohärenz.

§. 73. Beſteht der Kryſtall aus einer gleichförmigen Maſſe, ſo daß in zwei einander parallelen Flächen, welche Lage ſie auch zur äußeren Begrenzung des Körpers haben mögen, dieſelbe Cohärenz ſtattfindet, ſo werden die Unterſchiede in der Cohärenz in der Regel ſichtbar, ſo bald der Körper durch irgend eine Urſache zerbricht. Enthält der Kryſtall Waſſer oder andre Flüſſigkeiten, welche ſich durch Wärme ſtark ausdehnen oder verdampfen, ſo durchbrechen ſie den Kryſtall nach verſchiedener Richtung in der Regel mit ungleicher Stärke und bilden Sprünge, die gewiſſen Kryſtallflächen parallel laufen. Brewſter fand, daß die Bläschen Kohlenſäure aus erhitztem Kalkſpath ſich gewöhnlich in Linien ordneten, die der kurzen Diagonalen parallel waren. Richtet man eine Löthrohrflamme auf die Seitenflächen eines Gypsblättchens, ſo ſchmilzt der Gyps und ſcheint zu ſieden. Erhitzt man ihn dagegen auf der Hauptdurchgangsfläche, ſo können die entbundenen Waſſerdämpfe den Widerſtand leicht durchbrechen, und der Gyps entwäſſert ſich ohne Sieden und Schmelzen.

Kühlt man einen erhitzten Quarzkryſtall ſchnell ab, ſo zerſpringt er, wie andre ſpröde Körper, in Stücke, allein neben der muſchlichen Oberfläche zeigen ſich auch einige den Pyramidenflächen parallele Stellen. Bei andren Körpern beſteht die Bruchfläche, welche auf dieſe Weiſe, oder durch machaniſche Kräfte hervorgebracht wird, ganz aus Ebenen, die einigen Hauptflächen des Kryſtalls parallel ſind.

Beobachtungen, wie dieſe, können jedoch über die Verhältniſſe der Cohärenz nur einen unvollkommenen Aufſchluß geben. Die Methoden, deren man ſich bei feſten Körpern bedient, ſind bei Kryſtallen nicht anwendbar. Man bedarf, um annähernde Reſultate zu erlangen, vieler Verſuche, und dazu fehlt es hier an Material. Die Cohärenz der Kryſtalle iſt daher nur in den Durchgängen und in der Härte unterſucht.

a. Durchgänge.

§. 74. Die Durchgänge sind als charakteristische Merkmale der Krystalle vielfach beobachtet. Allein ihre Natur ist noch nicht genau bekannt. Daß sie die Richtungen der kleinsten Cohärenz sind, ist die Meinung, welche sich zuerst darbietet und die überall angenommen ist, wo nicht hypothetische Speculationen auf eine andere Ansicht geführt haben.

Indessen sind hier zwei Schwierigkeiten, welche sich zwar nirgends aufgeführt finden, aber doch vielleicht, ohne daß man sich ihrer bewußt war, auf die Vorstellung, die man sich von den Durchgängen machte, Einfluß hatte. Die erste rührt von den Nebendurchgängen her, welche man in der Regel in den Abstumpfungen der Ecken oder Kanten der Hauptdurchgänge beobachtet, also an Orten, wo man nicht Minima, sondern Maxima der Cohärenz erwarten sollte. Die zweite Schwierigkeit liegt in den plötzlichen Sprüngen zwischen den Durchgängen. Man könnte glauben, daß z. B. im Anhydrit die Fläche [100.1.1] in der Cohärenz der Fläche [100.0.0] d. h. [100] sehr nahe stehen müsse, allein hier wird keine Spur eines Durchganges wahrgenommen, welcher sich dagegen, aber weit schwächer als auf [100], auf [010] und [001], findet.

Absonderungsflächen.

§. 75. Man erklärte daher die Durchgänge für Ueberreste der Flächenbildung und glaubte, daß sie diesem Umstande ihre geringe Cohärenz verdanken, und daß man bei genauer Untersuchung jeder Krystallfläche parallel einen Durchgang finden würde. Aber diese Meinung führt leicht zu Irrthümern in der Bestimmung der Durchgänge. Die Ueberreste der Flächenbildung sind nicht Durchgänge, sondern Absonderungen. Wenn der Körper gleichmäßig wächst, die Materie ganz unverändert bleibt, so ist im Innern des Körpers keine Spur von seiner äußeren Begrenzung vorhanden. Allein sobald Störung in seiner Bildung eintritt, und ehe die neue Schicht ansetzt, die ältere, und wäre es auch nur durch eine streifende Welle des Auflösungsmittels, etwas verändert wird; sobald der Stoff etwa durch Beimischung einer geringen Menge eines isomorphen Körpers eine Veränderung erleidet: so hört die innige Verbindung auf. Die heterogenen Theile haften nicht mit der Stärke der homogenen an einander, und der Körper spaltet sich leichter in

den Richtungen, wo die Stetigkeit unterbrochen iſt. Die Abſonderungen ſind alſo von den Durchgängen weſentlich unterſchieden. Dieſe treten in jedem Puncte ſtetig ein, jene dagegen nur in Sprüngen und theilen den Körper in Blätter oder Körner von einer gewiſſen Dicke. Allein für die Beobachtung bringen beide oft dieſelbe Wirkung hervor, und ſind daher ſchwer zu trennen.

§. 76. Die Abſonderungen würden weniger ſchädlich auf die Unterſuchung einwirken, wenn ſie den Kryſtall in willkürlichen Ebenen durchſchnitten. Allein ihre Flächen ſind nicht nur einander und den Durchgängen parallel, ſondern auch den Abſtumpfungen der Ecken und Kanten der Grundform, welche mindeſtens eben ſo häufig vorkommen, als die Durchgänge ſelbſt (Siehe §. 43). Man wird daher leicht verleitet, dieſe Flächen, denen überdieß oft ein Nebendurchgang entſpricht, für die Hauptform zu halten.

Eine rauhe Bruchfläche, Mangel an Glanz, iſt immer Abſonderung, ſelbſt, wenn ſie einem wirklichen Durchgange parallel iſt. Wenn ſich in Afterkryſtallen ein Durchgang zu finden ſcheint, z. B. in dem aus kohlenſaurem Eiſenoxydul und Schwefelwaſſerſtoff gebildeten Schwefeleiſen (Berzelius in ſeinem Jahresberichte 1833. XII. p. 181.) oder in dem Martit, einem in Eiſenoxyd umgewandelten Eiſenoxydul, ſo rührt es nicht von den Durchgängen, ſondern von Abſonderungen her, welche entweder ſchon in dem urſprünglichen Kryſtalle vorhanden waren, oder erſt in Folge der Umwandlung entſtanden ſind. Auch an Afterkryſtallen von Hornblendemaſſe in der äußern Form des Augits, die Guſt. Roſe (Pogg. Annal. 1831. XXXI. p. 619.) beſchreibt, wird durch eine regelmäßige Lagerung der Individuen der Schein eines Durchganges hervorgebracht. So ſieht man das verſteinerte Holz ſehr oft mit der Textur des natürlichen. Auch die Linien im Innern der Kryſtalle, die man in den mineralogiſchen Handbüchern als Spuren von Durchgängen anführt, ſind nur Abſonderungen. Eben ſo die Spaltungen in Gyps- und Glimmerblättchen, welche Talbot (Pogg. Annal. 1833. XXXI. p. 591.) beobachtete, wenn er ſie erhitzte. Er hält ſie für Durchgänge. Es ſind aber nur Abſonderungen. Wahre Durchgänge werden bloß durch Spaltung eines ganz homogenen Körpers und nur an der Oberfläche des Bruches ſichtbar.

§. 77. Die Aehnlichkeit der Abſonderung und des Durchganges, und beſonders das Uebergewicht, welches der erſte durch eine

kleine Störung in der Bildung erlangt, macht die Bestimmung der Familie, zu welcher ein Krystall gehört, sehr ungewiß. Unstreitig werden in einer nach den §. 28. auseinandergesetzten Grundsätzen berechneten Tabelle mehrere Krystallreihen bloß durch einen Fehler in der Schätzung der relativen Stärke der Durchgänge weit von einander getrennt und Körper, für deren Isomorphie sonst alles spricht, sind, wenigstens nach den Angaben einiger Beobachter, in den Durchgängen von einander verschieden, z. B. in den Gattungen des Apatits, des Corunds, des Aragonits. Indessen darf man deshalb die Durchgänge nicht für etwas dem Krystall unwesentliches halten, denn ganz ähnliche Unterschiede werden auch zuweilen bei einer und derselben Krystallreihe angegeben und hier, wo alle physikalischen und chemischen Erscheinungen identisch sind und bloß der Fundorte verschieden, wird man nicht diese, das Innere des Krystalls aufdeckende Eigenschaft der Spaltbarkeit für veränderlich halten, während sie in der Mehrzahl von Fällen, selbst bei den verschiedensten Combinationen, völlig gleichartig bleibt. Man darf deßhalb auch nicht zwei Körper mit einander vereinigen, wenn ihre Durchgänge constant verschieden sind, selbst wenn eine leichte Modification der Krystalldimension dazu hinreicht. Zwei Krystallgattungen, die derselben Klasse angehören, Augit und Hornblende, zeigen in ihren Winkeln, in der Art ihres Vorkommens und selbst in ihren chemischen Bestandtheilen so viel Uebereinstimmung, daß man sie, wenn man von den Durchgängen absah, für isomorph halten mußte. Aber die genaueren Untersuchungen, welche wir G. Rose verdanken (Pogg. Annal. 1831. XXII. p. 321; 1833. XXVII. p. 97; 1834 XXXI. p. 619) haben gezeigt, daß die Uebergänge, welche sich vorzufinden scheinen, keineswegs auf eine Identität der Gattung hinweisen.

§. 78. Die Erklärung der Durchgänge habe ich bereits in meiner Schrift: De Crystallorum Cohaesione 1829. p. 38. gegeben. Sie ist folgende: Durch einen Schlag erschüttert, wird der Körper in der Richtung des Schlages comprimirt, perpendiculär darauf dilatirt. Diese Dilatation pflanzt sich nach dem Umfange des Körpers wellenförmig fort, die Wellen werden reflectirt und die Theile, welche die größte Spannung erleiden und den geringsten Widerstand leisten, trennen sich. Die Oberfläche der Wellen und die davon abhängige des Reißens wird in einem nach allen Richtungen gleichförmigen Körper unendlich selten, d. h. nie, eine grade

Fläche ſein, ſondern aus krummen Flächen beſtehen. Dieſe bilden den muſchligen Bruch.

Bei Körpern von ungleichem Gefüge iſt das Fortſchreiten der Wellen ein anderes. Nach Savart's Verſuchen in Holz und in Kryſtallen (§. 59) werden die Wellen oft gradlinig, und zwar parallel den Achſen der größten und der kleinſten Elaſticität oder doch den Linien, welche die ſymmetriſchſten Lagen im Körper haben. Was man auf Flächen beobachtet, findet unſtreitig auch in Körpern ſtatt, und hier werden die Wellen noch leichter beſtimmte, regelmäßige Lagen annehmen können, als auf Flächen, wovon die reſonirenden Flächen und Räume in der Akuſtik viele Beiſpiele geben. In dieſen Flächen trennen ſich daher auch die Theile, ſobald die innere Dilatation die Grenze der Elaſticität überſchreitet.

§. 79. Es ſind alſo zwei Urſachen, von welchen die Leichtigkeit des Durchganges abhängt.

1. Die geringe Größe der Cohärenz.

2. Die ſymmetriſche Lage.

In den Flächen, wo beide Urſachen ſind vereinigen, wird der Durchgang am leichteſten ſein. Wenn aber der Unterſchied der Cohärenz in verſchiedenen Richtungen nicht allzu groß iſt und der Körper vermöge ſeiner Sprödigkeit eine leichte Theilung zuläßt, ſo wird auch in einigen derjenigen Richtungen eine Spaltbarkeit ſtattfinden können, wo die Cohärenz ein Maximum iſt.

Dieſe Erklärung läßt zwar, da wir nicht quantitativ genaue Größen vor uns haben, noch manches zu wünſchen übrig; allein ſo viel möchte feſt ſtehen, daß die Nebendurchgänge ihr Daſein bloß der ſymmetriſchen Lage der Flächen verdanken und aus einer ähnlichen Urſache hervorgehen wie die Gradlinigkeit und Unverrückbarkeit der Knotenlinien auf ſchwingenden Holz- und Metallſcheiben. Auch liegt hierin wahrſcheinlich die Urſache, daß man in demſelben Körper, je nach der Art des Spaltens, bald muſchligen, bald gradflächigen Bruch erlangt. Die unebenen und körnigen, ſo wie ein großer Theil der blättrigen Brüche rühren von Abſonderung, d. h. einer Aggregation verſchiedener Kryſtallindividuen her.

b. Härte.

Beobachtungsweiſe.

§. 80. Weit ergiebiger für die Erkenntniß der Cohärenz, als

die Durchgänge ist die Härte, nicht die absolute Härte, welche man als ein charakteristisches Merkmal der Mineralien bei den natürlichen Krystallen zu beobachten pflegt, sondern ihre Unterschiede in verschidenen Richtungen. Ein Paar einzelne Fälle ausgenommen *), die sich bei der Härteprüfung zufällig ergeben hatten, waren diese noch unbekannt, als ich im Jahre 1829 eine Untersuchung darüber bekannt machte. Seitdem habe ich die Versuche wiederholt und abgeändert.

Die Oberfläche der Krystalle muß ganz rein sein, und dieses ist selbst bei Anhydrit, Gyps, Flußspath und andren für luftbeständig gehaltenen Körpern nicht der Fall, wenn sie der feuchten Luft ausgesetzt werden. Sie müssen ferner ganz frei von Streifen sein. Gestreifte Oberflächen erscheinen viel weicher in der auf die Streifen senkrechten Richtung als parallel damit. Auch auf polirten Oberflächen, die, von mikroskopischen Furchen durchzogen, niemals die Glätte der natürlichen erreichen können, gehen die Unterschiede der Härte zum Theil verloren. Frische Durchgangsflächen sind daher zu Versuchen über die Härte am meisten geeignet.

§. 81. Man untersucht die Härte durch ein Stäbchen, das über die Oberfläche des Krystalls hingeführt, einige Theile losreißt. Bei geschmeidigen Körpern, wo die Furche nicht durch Losreißen, sondern durch Eindrücken entsteht, z. B. bei dem Bleiglanz, dem Magneteisenstein, ist es mir noch nicht gelungen, Unterschiede aufzufinden, obgleich ich bei gewalzten Metallen z. B. Kupfer, Messing, Platin, vielleicht in Folge der schwachen Streifung, deutliche Unterschiede zwischen den beiden der Richtung des Walzens parallelen nnd perpendiculären Linien, wahrgenommen habe.

Ein Körper, der den andern ritzt, ist nicht immer härter; denn bekanntlich nutzen sich Stahl und Diamant an viel weicheren Körpern ab, und mit Kupferscheiben kann man Stahl durchsägen. Allein es ist zweckmäßiger, das Prüfungsmittel aus einer härteren Substanz zu wählen, als der Krystall ist, und dann um

*) Bei Cyanit und Gyps war den Mineralogen schon ein Unterschied bekannt. Er ist bei beiden, besonders beim Cyanit, so groß, daß er bei dem ersten Versuche auffallen mußte. Beim Diamant führen Wollaston Philos. Transact. 1816 p. 265 und Babbage Maschinen- u. Fabrikwesen. Uebers. p. 16 eine Erfahrung der Schleifer an. Eine hieher gehörige Bemerkung von Huygens Tractatus de Lumine. Opp. rell. I. p. 72 theilt Seebeck mit.

die relative Härte an zwei Richtungen zu beſtimmen, an beiden Orten eine gleiche, aber möglichſt ſchwache Kraft anzuwenden.

Die Kraft ſchätzt man durch's Gefühl oder durch Gewichte. Das Stäbchen oder die Schneide iſt alsdann an einem einarmigen Hebel befeſtiget, an dem ſich auch ein verſchiebbares Gewicht befindet. Der Kryſtall ruht auf einem Schlitten, der dem Stäbchen entgegengeſchoben werden kann; man beobachtet die Stellung, welche das Gewicht haben muß, damit das Stäbchen mit einer hinlänglichen Gewalt auf den Kryſtall drücke, um in ihm, wenn er bewegt iſt, eine Furche zu machen. Eine ähnliche Methode hat ſchon Muſſchenbroek Dissert. phys. 1729 p. 669 und neulich A. Seebeck angewendet (Programm zur öffentlichen Prüfung des Real-Gymnaſiums in Berlin 1833.). Man erlangt auf dieſe Weiſe genauere Reſultate, als mit bloßer Hand, wenn man keine der Vorſichtsmaßregeln vernachläſſiget. Allein ohne große Umſicht bei dieſen ſo einfach ſcheinenden Verſuchen geht der Vortheil, den der genauere Apparat gewährt, leicht verloren. Quantitativ genaue Reſultate findet man auch auf dieſe Weiſe nicht; man erlangt immer nur Abſtufungen der Härte. Die Möglichkeit, ſehr viele Verſuche ſchnell hinter einander unter völlig gleichen Umſtänden zu wiederholen, und die grade an dieſe feinen Unterſchiede des Druckes ſehr gewöhnte Hand, reichen zur Schätzung der relativen Härte in der Regel hin.

Die abſoluten Unterſchiede der Härte in den Mineralien, die man jetzt noch auf eine ſehr unvollkommene Weiſe prüft, ſollte man ebenfalls auf die von mir angegebene Weiſe unterſuchen. Die Scalen der Härte würde feſter und und die Angaben weit zuverläſſiger werden.

§. 82. Ich habe eine große Anzahl von Körpern, ſowohl künſtliche als natürliche, beobachtet und in ihnen drei Arten von Unterſchieden gefunden.

1. Auf derſelben Linie in entgegengeſetzten Richtungen.
2. Auf derſelben Fläche in Linien von verſchiedener Richtung.
3. Auf verſchiedenen Flächen deſſelben Kryſtalls.

Kryſtallographiſch gleiche Richtungen hatten immer auch gleiche Härte. Zwei ungleiche Richtungen dagegen haben vielleicht immer auch in der Härte einen Unterſchied.

Bei iſomorphen Körpern iſt der abſolute Werth der Härte

sehr verschieden, allein in dem relativen sind sie einander gleich. Salpetersaures Natron z. B. ist viel weicher, als kohlensaurer Kalk. Allein es krystallisirt fast mit denselben Winkeln und alle Gradationen der Härte, die ich beobachten konnte, gleichen denen des kohlensauren Kalks. Dasselbe ist der Fall bei Körpern, die einer Familie des tesseralen Systemes angehören.

1. Unterschiede in entgegengesetzten Richtungen einer Fläche.

§. 83. Diese kommen nur auf solchen Flächen vor, deren Normalen keine symmetrische Lage zur Krystallreihe hat, also nicht in den Flächen 100, 010, 001 der Systeme mit drei rechtwinkligen Achsen und in der Fläche 100 des monokliniſchen Systemes, z. B. der Hauptfläche der Gypstafeln. Dagegen habe ich sie beobachtet im Gyps, auf den Flächen des zweiten und dritten Durchganges 010, 001, auf frischen Bruchstücken. In den dem Hauptdurchgange parallelen Linien traf man, wenn man nach der stumpfen Kante hinstrich, einen geringeren Widerstand als nach der spitzen.

Im Quarz, auf den Pyramidenflächen, schien die Richtung perpendiculär auf die Basiskanten weicher zu sein, als umgekehrt nach dem Scheitel.

Auf den gewöhnlichen Prismen des Augits (Akmit) war, wie es schien, die Härte geringer, wenn man perpendiculär auf die scharfe Kante des Prisma's strich, als entgegengesetzt nach der stumpfen. Der Durchgang ist der Abstumpfung der scharfen Kante parallel. Auf den Durchgängen selbst war kein Unterschied wahrzunehmen.

Sehr deutlich ist dieses aber im Kalkspath und im salpetersauren Natron, wo auf den Durchgangsflächen in den Linien, die der kurzen Diagonale oder den Kanten parallel sind, wenn man nach den stumpfen Kanten strich, die Härte kleiner war, als in entgegengesetzter Richtung. In der langen Diagonale war kein Unterschied wahrzunehmen.

§. 84. Um diese Erscheinung aufzufassen, wollen wir den einfachsten Fall bei dem Gyps betrachten. Die Lage des Hauptdurchganges und der Fläche, auf welcher man ritzt, ist für die zwei in ihrer Richtung entgegengesetzten Linien identisch. Die Ursache des Unterschiedes kann daher nur in der dritten Fläche des Durchganges liegen, welche mit der einen Richtung den stumpfen, mit der

andern den ſpitzen Winkel macht. Setzen wir dieſen $= \alpha$, ſo iſt vielleicht Cosin. α ein annäherndes Maaß für die Differenz der Härte. Dieſe verſchwindet, wenn $\alpha = 90^0$.

Es iſt wahrſcheinlich, daß dieſer Unterſchied auf den Flächen, welche die Durchgänge möglichſt einfach abſtumpfen, d. h. [111] oder [011] u. ſ. w. nicht ſtatt findet, wenigſtens ſah ich ihn nicht auf der Fläche 100 des Flußſpathes, 011 des Anhydrits und anderen. Dieſe Flächen machen nämlich mit dem ſtärkern der beiden Durchgänge einen größeren Winkel, ſo daß A Cosin. $\alpha =$ B Cosin. β, wo A und B die kryſtallographiſchen Werthe der beiden Flächen ſind.

2. Unterſchiede auf einer Fläche in verſchiedenen Richtungen.

§. 85. In den minder ſymmetriſchen Kryſtallſyſtemen ſchien die Richtung der Maxima und Minima keine einfache Lage zu haben. Ich beobachtete zuerſt daher das teſſerale Syſtem, wo das Gefüge am einfachſten iſt, und fand hier folgendes:

Im Kochſalz, auf der Würfelfläche, iſt die Härte größer der Diagonale als der Kante parallel. Der Durchgang iſt nach den Würfelflächen.

Im Flußſpathe, wo der Durchgang nach dem Oktaeder iſt, iſt auf der Würfelfläche die Härte nach den Kanten größer, als nach den Diagonalen. Aehnliches habe ich im ſalpeterſauren Strontian gefunden, deſſen Gefüge dem des Flußſpathes gleich iſt. In dem Flußſpath, der ſpröder zu ſein ſcheint, ſind die Unterſchiede größer als hier. In beiden Fällen iſt alſo die Richtung, die dem Durchgange parallel iſt, am härteſten.

Auf der Endfläche des Grünbleierzes konnte ich keinen Unterſchied wahrnehmen. Dieſer kann nur ſehr gering ſein, da auf den 360 Graden ſich ſechs Maxima und ſechs Minima hätten finden müſſen. Aus gleichen Urſachen iſt er vermuthlich auch auf den Oktaederflächen des Flußſpaths nicht wahrgenommen worden.

§. 86. In dem rhombiſchen Syſteme und auf den Prismenflächen der einachſigen Syſteme ſind die Richtungen, welche in dem teſſeralen einander gleich und perpendiculär ſind, entweder ungleich geworden oder ſchiefwinklig oder beides.

Der Anhydrit hat drei auf einander perpendiculäre Durch-

gänge von verschiedenem Werthe, der erste heiße A, der schwächste C, der mittlere B.

Auf A war die Richtung perpendiculär auf B am weichsten; perpendiculär auf C und auf einer Mittelrichtung am härtesten. Also nahm die Härte von ihrem Minimum rasch ab und blieb sich ziemlich gleich in dem Quadranten, in dessen Mitte die auf C perpendiculäre Linie war. Die Maxima sind wahrscheinlich zwischen dieser Linie und der Diagonale von 45°.

Eben so ist es auf B, wo die Linie perpendiculär auf A am weichsten ist, und die Diagonale und die auf C perpendiculäre Linie wenig von einander verschieden sind. Auf C dagegen ist die Linie perpendiculär auf B am härtesten, perpendiculär auf A am weichsten. Jedoch sind die Unterschiede klein und nicht ganz sicher.

In dem Schwerspath ist der Zustand ein anderer. Die Durchgänge sind parallel einem Prisma von 101° 45′ und der Basis. Auf dieser ist das Maximum in der Nähe der großen Diagonale, und das Minimum der Härte ungefähr in der kleinen Diagonale. Bei dem Anhydrit war es grade umgekehrt, indem die kleinste Härte perpendikulär auf der Abstumpfung der scharfen Kanten des gewöhnlichen Prismas, also in der großen Diagonale war. Damit hängt auch die §. 40 erwähnte Erscheinung zusammen.

§. 87. Im Grünbleierz ist auf den Flächen des sechsseitigen Prismas die Härte größer den Kanten parallel als perpendiculär darauf.

Ebenso verhält es sich auf der Fläche [2′11] des Kalkspaths.

Auf dem Quarz scheint die Härte des Prismas perpendiculur auf die Achse größer zu sein, als parallel damit; jedoch ist dieses nicht gewiß, weil man um den Quarz zu beobachten, selbst den Diamanten mit solcher Stärke führen muß, daß die Genauigkeit der Beobachtung darunter leidet.

Im eisenblausauren Kali ist die Härte auf dem Prisma und dem Oktaeder größer perpendiculär auf die Achse, als parallel damit, auch auf dem schwefelsauren Zink, dem Salpeter und besonders dem Graubraunstein ist auf den Prismaten, die den Achsen parallele Richtung härter, als die perpendiculäre.

Die Blende *) hat für einen Körper des tesseralen Systemes

*) In meiner Abhandlung p. 8 ist die Beobachtung an der Blende ganz richtig angegeben, allein in der Erklärung sind sinnstörende Druckfehler.

ſehr große Unterſchiede auf den Durchgangsflächen, die dem Rhombendodekaeder parallel ſind. Auf jeder dieſer Flächen kreuzen ſich die fünf übrigen Durchgänge, je zwei in einer Linie mit einer Neigung von 60° zur Fläche und 70° 32′ gegen einander. Den ſtumpfen Winkel des Kreuzes aus dieſen beiden Kanten theilt die Durchſchnittslinie des fünften auf die Fläche perpendiculär ſtehenden Durchganges in zwei Theile. Die kurze Diagonale dieſes Rhombus iſt viel weicher als die lange.

§. 88. Noch weniger regelmäßig als in den angeführten Beiſpielen iſt die Abſtufung der Härte auf Flächen, deren Lage zur Kryſtallreihe weniger ſymmetriſch iſt.

Der Gyps hat drei Durchgänge: einen ſehr vollkommenen (A); und zwei von einander verſchiedene, minder vollkommne, von welchen der beſſere den Streifen, die man gewöhnlich im Innern des Gypſes findet, parallel iſt (B) und einen dritten, der ſchwach muſchlig iſt (C). Ein Gypsblatt iſt parallel C ſpröde, parallel B biegſam, allein dieſe Biegſamkeit rührt bloß von Sprüngen im Innern des Gypſes her, die ſich unter dem Mikroſkope, ſelbſt in den gleichförmigſten Stücken zeigen. An ſich iſt der Gyps daher ebenſo ſpröde, wie die anderen Salze. Auf der Hauptfläche geritzt iſt er parallel B und perpendiculär auf C, mit geringen Unterſchieden, am härteſten, parallel C und perpendiculär auf B am weichſten *).

Entſprechende Unterſchiede habe ich im Gyps auch auf mehreren natürlichen Kryſtallflächen beobachtet.

Das Rauſchgelb verhält ſich beinahe wie der Gyps, nur ſind die Unterſchiede noch größer. Auch er ſcheint parallel der härteſten Richtung aus ähnlichen Gründen, wie beim Gyps gemein biegſam zu ſein, doch in geringerem Grade.

Im Augit (Akmit) iſt auf den Durchgangsflächen die Härte perpendiculär auf den übrigen Durchgängen kleiner als parallel damit. Auf den Prismen ſind die Unterſchiede kleiner als auf dem Hauptdurchgange.

Auf den Prismen und der Abſtumpfung der ſtumpfen Kante

*) Seebeck hat auf dem Gyps keine conſtanten Unterſchiede wahrgenommen. Ich bediente mich der Stäbe von Blei, Zinn oder einer Federpoſe. Die Unterſchiede ſind ſo ſtark, daß ich dadurch auf dem kleinſten Blättchen die Lage der Nebendurchgänge erkennen kann.

der Hornblende ist die Härte etwas kleiner parallel ihren Combinationskanten als perpendiculär darauf.

Auf dem Hauptrhomboeder des Kalkspaths ist die Härte am kleinsten, parallel der kurzen Diagonale oder der Kante, wenn man nach der stumpfen Ecke hinzieht. Am größten ist die Härte parallel der kurzen Diagonale, wenn man nach der scharfen Ecke zieht. Etwas minder hart sind die Richtungen auf den Kanten nach der Spitze hin. Die Härte auf der langen Diagonale steht zwischen der Härte auf beiden Richtungen der kurzen Diagonale, allein dem Maximum näher, als dem Minimum *).

§. 89. Außer dem habe ich Versuche bei einer großen Anzahl von andren Krystallen angestellt. Bei dem Sphen, Labrador, sowohl auf den polirten als den natürlichen Flächen, und auf dem Cyanit waren die Unterschiede groß. Fast ohne Ausnahme war die Härte am kleinsten in einer Richtung perpendiculär auf den stärksten, die Beobachtungsfläche durchschneidenden Durchgang. Nur auf dem Hauptdurchgange des Cyanits war die Härte stärker perpendicular auf einer Richtung, in welcher sich ein zweiter Nebendurchgang zu finden schien. Bei einer Cyanittafel bemerkte ich eine seltsame Erscheinung. Sie bestand aus einem perlmutter glänzenden und einem mattern, aber keinesweges verwitterten Theile, die zwar allmälig in einander übergingen, aber durch den ganzen Krystall, selbst auf frischen Durchgängen, unterschieden werden konnten. Der glänzende Theil hatte sehr große Unterschiede in seiner Härte. In dem andren Theile waren sie viel kleiner, indem der härtere Theil um vieles weicher, der weichere aber constant geblieben war.

§. 90. Bei diesen Unterschieden in verschiedenen Richtungen ist das Gesetz viel verwickelter, als bei den Unterschieden der Härte in derselben Linie. Sie können nur von der Lage der Kanten ab-

*) A. Seebeck giebt zwar an, daß die Härte in der langen Diagonale am kleinsten sei; allein sowohl meine früheren Versuche, als die, welche ich vor Kurzem an verschiedenen Varietäten von Kalkspath angestellt habe, lassen keinen Zweifel über die Richtigkeit meiner Angaben. Woher Seebeck's Irrthum rührt, kann ich nicht sagen, da ich seinen Apparat nicht besitze. Man muß sich bei den unvollkommenen Apparaten, die wir beide angewendet haben, mit den Erscheinungen der Härte sehr vertraut gemacht haben, sowohl um seine Unterschiede zu erkennen, als um die Hindernisse zu beseitigen, welche sich bei der Beobachtung eines jeden nicht ganz gleichförmigen Krystalls zu zeigen pflegen.

hängen, in welcher die Durchgänge die Fläche schneiden und von der Neigung derselben zur Fläche. Wir wollen annehmen, sie stehen senkrecht, so daß in derselben Linie in verschiedenen Richtungen kein Unterschied eintreten kann. Bei dem Kochsalz z. B. ist auf einer Würfelfläche die Härte perpendiculär auf einer der Seitenflächen A und B kleiner als nach den Diagonalen. Gesetzt nun, es würde bei einem Krystall die Härte in der Richtung A größer, so müßte das Maximum ihr näher rücken und die Richtung B würde das Minimum der Härte auf der ganzen Fläche haben. Je größer die Unterschiede von A und B werden, desto mehr werden sich die beiden Maxima der Richtung A nähern und der Krystall dem Zustande näher kommen, wo beinahe ein Maximum und ein Minimum auf einander perpendiculär stehen, so z. B. im Anhydrit. Wenn dagegen die beiden Richtungen A und B einander gleich bleiben, allein ihr Winkel aufhört, ein rechter zu sein, so wird in der Richtung, welche den stumpfen Winkel halbirt, die Härte etwas kleiner, in der darauf perpendiculären etwas größer werden. Diese Aenderung kann jedoch nur bis zu einem gewissen Puncte fortgehen, denn wenn der Winkel $= 120^0$ ist, so wird die Richtung, welche ihn halbirt, $=$ A oder B. Wo nicht nur der Winkel, sondern auch die relative Größe von A und B sich ändern, wird die Erscheinung noch verwickelter und in noch höherm Grade wird sie es, wo wie im Kalkspath, Unterschiede in verschiedenen Richtungen derselben Linien hinzutreten. Allein immer wird die Härte auf einer Fläche eine Function sein von der Cohärenz in den Hauptnormalen und den Neigungen derselben zu der Richtung des Streichens.

§. 91. Die Unterschiede, welche man auf einer Krystallfläche beobachtet, können in vielen Fällen dazu dienen, um, wenn man auch nur ein Blättchen von dem Krystalle besitzt, das System zu bestimmen und selbst um einen annähernden Werth der Neigung zwischen den Achsen zu erlangen. In den kleinsten Stückchen Gyps oder Rauschgelb findet man leicht die Richtung der Nebendurchgänge. Natürlich versuchte ich es auch im Glimmer; allein die zu meiner Verfügung stehenden Exemplare zeigten keinen merklichen Unterschied. Einachsig waren sie wahrscheinlich nicht, allein es möchten wenig Glimmerblätter geben, welche nicht aus einer regelmäßigen Zusammensetzung mehrerer Individuen sogar aus verschiedenen Klassen beständen (Siehe unten die Verbindung heterogener Krystalle.).

c. Unterschiede auf verschiedenen Flächen.

§. 92. Es bleiben nur noch die Unterschiede der Härte auf verschiedenen Flächen zu untersuchen übrig. Diese sind weniger genau, als die vorhergehenden. Luft und Feuchtigkeit und selbst der Staub, wenn sie auch die Beschaffenheit einer Fläche ändern, so können sie doch die Abstufung der Härte in verschiedenen Richtungen nicht gänzlich verändern. Allein auf verschiedenen Flächen wirken sie in der Regel sehr ungleich und machen die Bestimmung der Härte, wenn die Flächen nicht sehr frisch und glatt sind, ziemlich unsicher.

Ich hebe folgende Resultate, die zuverlässig zu sein scheinen, aus meinen Beobachtungen heraus.

Im Flußspath ist die Oktaederfläche weicher als die Würfelfläche. Dasselbe scheint im salpetersauren Strontian stattzufinden. Die Oktaederfläche hat immer einen fettartigen und schwächeren Glanz als die Würfelfläche.

Im Grünbleierz steht die Endfläche zwischen den beiden Extremen der Härte auf dem Prisma.

Auf dem Kalkspath ist das Prisma härter als das Rhomboeder.

Im Anhydrit sind auf den drei Flächen die Maxima wenig von einander verschieden, dagegen das Minimum am kleinsten auf dem Hauptdurchgange.

Eine Gypstafel hat auf ihrer Hauptfläche eine viel geringere Härte, als auf anderen Krystall- und Durchgangsflächen.

Auf den Prismen der Hornblende ist die Härte sowohl parallel als perpendiculär auf die Kanten kleiner als auf den Endflächen.

Im Labrador ist der Hauptdurchgang am weichsten.

Die Härte des Cyanits steht auf einigen Seitenflächen zwischen den Extremen der Hauptflächen.

Aus diesen und vielen anderen Versuchen geht hervor, daß, wo die Durchgänge nicht in sehr schiefen Winkeln gegen einander geneigt sind, die Härte auf dem Hauptdurchgange am kleinsten ist.

Resultate.

§. 93. Die drei Arten von Härteunterschieden haben also eine nahe Beziehung zu den Durchgängen.

1. Auf den Durchgängen iſt die Härte am kleinſten. Die abſolute Härte wird von den Mineralogen gewöhnlich auf der Fläche des leichteſten Durchganges beobachtet. Die mittlere Härte eines Kryſtalls iſt alſo größer als dieſe, und wenn ein Kryſtall zu einer möglichſt gleichförmigen Maſſe geſchmolzen wird, ſo muß ſeine Härte größer zu ſein ſcheinen, als diejenige, welche ihm in den mineralogiſchen Handbüchern beigelegt wird.

2. Auf einer Fläche iſt die Härte am kleinſten in der Richtung, welche perpendiculär auf der Kante ſteht, worin der beſte der Seitendurchgänge die Fläche ſchneidet.

3. Auf einer Linie, die perpendiculär auf einer Kante ſteht, in welcher ein Durchgang die Beobachtungsfläche ſchneidet, iſt die Härte kleiner, wenn man nach der ſtumpfen, als wenn man nach der ſpitzen Kante zieht.

Dieſe Sätze ſind paradox. Man hätte den kleinſten Widerſtand nicht auf den Durchgängen erwarten ſollen, ſondern auf Seitenflächen in den Richtungen, die dem Durchgange parallel ſind, weil man hier zwei Kryſtallflächen, welche den kleinſten Zuſammenhang haben, von einander zu trennen ſucht. Sie finden jedoch in einer genauen Analyſe der Beobachtungen ihre Erklärung. Da ich ſie ſchon in der erwähnten Abhandlung gegeben habe und ſie überdieß nicht ſchwer iſt, ſo kann ſie hier übergangen werden *).

§. 94. Ich habe die Abſicht, die Härte der künſtlichen Kryſtalle mit einem genaueren Apparate zu unterſuchen. So lange man die Elaſticität nicht prüfen kann, iſt kein Mittel geeigneter, das Gefüge der Kryſtalle kennen zu lehren, als die Härte. Die Vergleichung der Härte verſchiedener Flächen iſt trüglich; allein nicht im höheren Grade als die Vergleichung der Stärke von verſchiedenen Durchgängen. Ueberdieß iſt ſie entbehrlich, indem die Vergleichung der verſchiedenen Richtungen auf einer Fläche hinreicht, um die Unterſchiede der Cohärenz zu beſtimmen. So wenig man auch heſſen darf, auf dieſem Wege, ſelbſt mit den beſten

*) Das Thatſächliche iſt hier vollſtändiger als in der der lateiniſchen Abhandlung. In der Ueberſetzung, welche in Baumgartner's Zeitſchrift abgedruckt iſt, iſt der Sinn an mehreren Orten ganz verfehlt.

Apparaten, quantitativ genaue Bestimmungen der Cohärenz zu erlangen, so können doch die Abstufungen der Härte so genau beobachtet werden, daß man in Verbindung mit der Kenntniß, die man von den krystallographischen Dimensionen hat, allgemeine Gleichungen für die Cohärenz wird finden können.

Widerstand gegen Auflösungsmittel.

§. 95. Die Cohärenz zeigt sich nicht bloß in der Wirkung mechanischer Ursachen, sondern überall, wo irgend eine Kraft die Theile eines Körpers von einander zu trennen sucht, also auch gegen physische und chemische Agentien. Zwar tritt hier die Cohärenz nicht so direct auf, wie in der Härte; aber sie kann die Auflösung verzögern, ja fast unmerklich machen.

Es giebt viele Beispiele, wo Körper, die chemisch einander gleich sind, z. B. kohlenhaltiges Eisen sich gegen Auflösungsmittel sehr ungleich verhalten. Das eine Stück enthält Poren, Sprünge. In diese dringt das Auflösungsmittel ein. Die Poren werden durch die Kraft, womit dieses geschieht, noch mehr erweitert, der feste Körper kommt an sehr vielen Puncten mit dem Flüssigen in Berührung und er ist schnell verzehrt, während ein gleich schweres, in derselben Flüssigkeit befindliches Stück, das ohne Poren ist, dem Auflösungsmittel vielleicht nicht den hundertsten Theil der Oberfläche darbietet und ihm lange Zeit widersteht. Mit dem bloßen Auge nimmt man die Poren freilich nicht wahr. Allein mit dem Mikroskop sieht man sieht man sie bei durchsichtigen Körpern sehr oft, und daß Poren in sehr großer Menge in einem Körper sein können, ohne daß man sie selbst mit dem Mikroskope erkennt, zeigen unter andern die gebrannten Erden, welche mit kleinen Aenderungen des Volumens eine große Menge Wassers verloren haben, besonders der gebrannte Gyps nach Graham's Versuchen.

§. 96. Hierher gehören auch die Versuche von Daniell. Er hatte beobachtet, daß einige nicht deutlich krystallisirte Körper der langsamen Wirkung eines Auflösungsmittels ausgesetzt, ein krystallinisches Ansehen erlangten, und man schloß daraus, daß die Flüssigkeit die Durchgänge bloß lege. Aehnliche Erscheinungen bietet das Meteoreisen, das Metallmoor, das Fenstereis und bis zu einem gewissen Grade alle krystallisirte Körper dar. In allen diesen Fällen ist es aber die Textur allein, die bloß gelegt wird, indem das Auflösungsmittel in die Zwischen-

räume von Individuen eindringt, und dieſe, welche durch kleinere Kryſtalle oder fremde Stoffe ſcheinbar verbunden waren, von einander trennt. Sie ſind kein Beiſpiel von einer ungleichförmigen Wirkung des Auflöſungsmittels nach verſchiedenen Seiten des Kryſtalls; denn niemals dringt die Flüſſigkeit in das Innere eines Kryſtalls ein. Dieſes wäre unmöglich, da alle einander parallele Flächen mit gleicher Stärke cohäriren, und die Flüſſigkeit nirgends mit concentrirterer Kraft wirkt. Ein Salpeterkryſtall, der aus einem Aggregat von Faſern beſteht, iſt ſchnell zerſtört. Ein Druſe zerfällt bald in ihre einzelnen Kryſtalle; allein dieſe behalten ihre Geſtalt lange Zeit hindurch bei.

§. 97. Ein Körper, der frei von Sprüngen iſt, und äußern Einwirkungen überall mit gleicher Stärke widerſteht, wird in eine Flüſſigkeit, die ihn auf allen Seiten gleich umſpült, ſeine Kanten und ſeine Ecken verlieren und ſich immer mehr der Kugelform nähern.

Ein polyedriſcher Körper, deſſen Oberfläche den zerſtörenden Einflüſſen überall gleich unterworfen wäre, aber nach verſchiedenen Seiten mit ungleicher Stärke widerſtünde, würde ebenflächig bleiben, und in ſeinen Winkeln keine Veränderung erleiden. Aber ſeine Geſtalt würde ſich verändern, indem er in den Richtungen der ſtärkeren Cohärenz an Dicke weniger verlieren würde als in andren.

In den Kryſtallen ſind beide Urſachen vereinigt. Seine Kanten und Ecken werden immer etwas abgerundet, weil ſie dem Auflöſungsmittel am meiſten ausgeſetzt ſind, und die verſchiedenen Kryſtallflächen erleiden einen ungleichen Verluſt. Die Geſtalt der theilweiſe aufgelöſten Kryſtalle wird dadurch ſehr unregelmäßig.

Ich habe vor mehreren Jahren viele Verſuche in dieſer Beziehung angeſtellt. Die Kryſtalle wurden frei in Flüſſigkeiten von verſchiedener Concentration und Zuſammenſetzung gebracht. Die Kanten rundeten ſich immer, aber zuweilen kaum merklich ab. Die Flächen blieben ſehr ſelten eben, zuweilen wurden ſie etwas convex, weit öfter wurden ſie concav, und dieſes wol ſo ſtark, daß die Kanten ſpitzer geworden zu ſein ſchienen. Zuweilen wurde die Fläche ſattelförmig. Die Oktaeder des Flußſpathes, die Würfel des Kochſalzes, die Rhomboeder des Kalkſpathes wurden immer concav. In dem Cubo-Oktaeder des ſalpeterſauren Strontians verhielten ſich die beiden Flächengruppen ungleich, die einen

wurden conver, die andren concav. Es ist zu vermuthen, daß die Durchgangsflächen in der Regel concav werden; allein meine Versuche sind nicht zahlreich genug, um es zu entscheiden; denn es ist nicht leicht, das Auflösungsmittel gleichförmig zu erhalten.

In dem verschiedenen Reactionsvermögen der Krystallflächen liegt wahrscheinlich der Grund von der Beobachtung Faraday's (Philos. Transact. 1834. Pogg. Annal. XXXIII. p. 186.), daß Krystalle von kohlensaurem, phosphorsaurem oder schwefelsaurem Natron, die, so lange sie unverletzt waren, ihre Flächen Jahre lang an der Luft glänzend erhielten, sobald man sie ritzte, sich mit einer von der verletzten Stelle ausgehenden Efflorescenz bedeckten.

§. 98. Wenn eine Salzlösung, aus welcher ein Theil des Salzes auskrystallisirt ist, sich längere Zeit selbst überlassen bleibt, so bringt der Wechsel der Temperatur zuweilen Störungen in den Krystallisationsproceß. Die gebildeten Krystalle werden theilweise wieder aufgelöst, und abgerundete Salzkörner sind mit gewöhnlichen Krystallen vermengt. Diese habe ich sogar in den krystallisirenden Tröpfchen unter dem Mikroskope wahrgenommen. Neben der mechanischen Abreibung mag diese partielle Auflösung der Hauptgrund von der Verbildung der Oberfläche in natürlichen Krystallen sein.

Rückblick auf die Krystallophysik.

§. 99. Sämmtliche relative Eigenschaften der Krystalle haben ihren Berührungspunct in der Krystallform. Alle krystallographisch gleichen Linien, die Hemiedrie eingeschlossen, sind auch in ihrem physischen Verhalten einander gleich. In isomorphen Krystallen können zwar die absoluten Unterschiede der Härte, der Lichtbrechung, der Ausdehnung durch Wärme in verschiedenen Richtungen sehr ungleich sein; aber sie beobachten doch, so weit man sie kennt, immer denselben Gang, d. h. die Differenzen sind in allen isomorphen Krystallen positiv oder in allen negativ, so daß man in einer krystallographische Gattung nur eine Krystallreihe zu beobachten braucht, um die Art der Variationen von allen der Gattung angehörigen Reihen kennen zu lernen.

Die Spannkraft und die Cohärenz sind an die Durchgänge gebunden, d. h. an die Krystallform, und es ist sehr wahrscheinlich, daß sie eine Function von ihrem absoluten Werthe in der

Subſtanz des Kryſtalls und von den Grundverhältniſſen und den Winkeln der Kryſtallform ſind, ſo daß die Unterſchiede zwiſchen iſomorphen Kryſtallen bloß von den abſoluten Kräften der Subſtanz abhängen. Auch die relative Ausdehnnng der Kryſtalle durch die Wärme (§. 64.) ſteht wahrſcheinlich in ſehr naher Beziehung zu der Elaſticität und wird vielleicht bis auf einen für alle Richtungen conſtanten Factor durch dieſelbe Function, wie der allſeitige Druck, bezeichnet. Die Doppelbrechung des Lichts iſt zwar eine von der Compreſſion ſehr verſchiedene Erſcheinung. Sie bewirkt keine Veränderungen in dem materiellen Zuſtande des Körpers und iſt, wenn man von dem hypothetiſchen Aether abſehen will, nur das Symptom einer ungleichförmigen Cohäſion. Indeſſen iſt auch ſie, wie aus einer Betrachtung der Lichtpolariſation in den ihrer Form nach bekannten Kryſtallen hervorzugehen ſcheint, vermuthlich nur Function der abſoluten Brechungs- und Zerſtreuungskraft des Kryſtalls und der Elemente der Grundform. In welchem Verhältniſſe aber dieſe Function zu derjenigen der Elaſticität ſteht, und ob bei den minder ſymmetriſch geformten, monokliniſchen und triklinischen Syſtemen die Extreme und die Media auf dieſelben Linien fallen, darüber zu entſcheiden, beſitzen wir weder durch Beobachtung, noch durch Speculation, auch nur einige mäßig genügende Data (Siehe Neumann Pogg. Annal. 1833. XXVII. p. 240. und 1834. XXXI. p. 177.).

§. 100. An die beiden durch Druck und Wärme bewirkten Veränderungen reiht ſich eine dritte an, diejenige, welche die Beimengung von vicariirenden Beſtandtheilen hervorbringt. Wenn z. B. im Schwerſpath ein Theil des Baryts durch Strontian oder Blei erſetzt wird, ſo werden die Winkel verändert. Der Unterſchied nimmt zu, bis der Baryt ganz durch die andre Baſis verdrängt iſt. Die Veränderung, welche hier der Strontian hervorbringt, iſt unſtreitig eine Function der Kryſtallform, und die in verſchiedenen Elementen des Grundverhältniſſes entſtehenden Variationen haben vermuthlich ein ähnliches Verhältniß gegen einander, als die, welche die Wärme oder allſeitiger Druck hervorbringen würde. Wenn man dieſe Function durch Achſen individualiſiren will, ſo konnte man neben die kryſtallographiſchen, akuſtiſchen, thermiſchen und optiſchen Achſen noch die chemiſchen Achſen ſtellen, und im Falle ſie auch in den monokliniſchen u. ſ. w. Sy-

stemen zusammenfallen sollten, sie mit dem generellen Namen der physischen Achsen bezeichnen.

§. 101. Es sei mir vergönnt, hier eine Hypothese zu wiederholen, welche ich bereits in meiner Schrift De Crystallorum Cohæsione p. 43 aufgestellt habe. Wenn zwei Körper, die nicht zum tesseralen Systeme gehören, bei einer gewissen Temperatur eine völlig gleiche Krystallform haben, und sie dehnen sich durch Wärme mit ungleicher Stärke aus, so wird die Uebereinstimmung aufhören. Zwei einer Gattung angehörige Krystallreihen können daher, wenn die Unterschiede in ihren Grundformen gegen die Variationen, welche der Temperaturwechsel in den Winkeln hervorbringt, nicht zu groß sind, bei einer gewissen Temperatur einander vollkommen gleich gewesen sein.

Man hat bis jetzt nur in einer einzigen Gattung die Veränderungen, welche die Wärme in isomorphen Krystallreihen hervorbringt, beobachtet. Sie waren der Temperatur beinahe proportional. Auf 100° C wurden die Winkel zwischen den Rhomboederflächen $= \alpha$, spitzer

in reinem Kalkspath	8′ 31″5	$\alpha =$	105°4′
in Bitterspath (a)	4′ 6		106°15′
„ „ (b)	3′ 29		107°22′
in kohlensaurem Eisen	2′ 22		107°0′

Durch die Erwärmung entfernen sich die drei Krystallreihen noch mehr von der ersten; die Abkühlung würde sie also ungefähr in demselben Maßstabe einander näher rücken. Die Variation beträgt zwischen

Kalkspath und Bitterspath (a)	1/16	der ganzen Differenz
Bitterspath (b)	1/27	„ „
Eisenspath	1/18	„ „

Ich will auf diese Zahlen keine Berechnung der Temperatur gründen, bei welcher die Gleichheit der Winkel eintreten werde. Aber man sieht, daß bei einer gewissen niedrigen Temperatur, vielleicht — ∞, alle diese isomorphen Krystalle einander völlig gleich werden könnten. Sie hätten dann den Winkel $\alpha = 107\frac{1}{2} - 108°$ und es wäre bloß die Temperatur, welche die Verschiedenheiten hervorgebracht hätte. Sollten auch isomorphe Gruppen in andre Gattungen durch Abkühlung einander näher treten, und es überall die Temperatur

ſein, welche die Unterſchiede unter den iſomorphen Kryſtalle hervorgebracht hätte?

Vierter Abſchnitt.

Kryſtallogenie.

§. 102. Man könnte die Kraft, von welcher die Entſtehung und die Vergrößerung der Kryſtalle abhängt, den Bildungstrieb der anorganiſchen Körper nennen, wenn man nicht mit dieſem Ausdrucke ein Streben nach einem gewiſſen Ziele zu bezeichnen pflegte. Ein ſolches exiſtirt aber in der lebloſen Natur nicht, ſo oft man ſich deſſelben auch in der Phyſik und Chemie bedient. Jede Thätigkeit entſpringt aus dem Mangel an Gleichgewicht in den auf den Körper wirkenden Kräften, und nicht eher tritt Ruhe ein, als bis dieſes Gleichgewicht erlangt iſt. Dieſes fehlt nun bei den flüſſigen oder gasförmigen Körpern in dem Momente des Erſtarrens, und wie ich ſpäter zeigen werde, auch bei den feſten Körpern, die nicht normal kryſtalliſirt ſind (Siehe Cohärenz, Gefüge und Innere Bewegung). Das Product der nun thätigen Kräfte will ich mit Kryſtallbildung und die Kräfte ſelbſt durch Kryſtalliſationskraft bezeichnen.

I. Kryſtallbildung.

§. 103. Die Methoden, große und regelmäßige Kryſtalle zu erlangen, beruhen darauf, alles zu vermeiden, was eine Zerſplitterung der kryſtalliſirenden Subſtanz verurſachen könnte.

Le Blanc Cristallotechnie Journ. de Phys. XXXI. 1787. p. 29 und XXXIII. p. 374. Sehr reichhaltig.

Lowitz Nov. Acta Petrop. 1794. XI. p. 271.

Kirwan Thoughts on Magnetism. 1796. Ueberſetzung ſeiner Werke V. p. 369. Er und Lowitz machen die wichtige Beobachtung, daß ein gleichartiger Kryſtall die Ueberſättigung und die davon abhängende tumultuariſche Kryſtallbildung verhindert.

Beudant Annal. Ch. Ph. 1818. VIII. p. 5. Die Hauptarbeit über die Kryſtallbildung. Es iſt nur zu bedauern, daß die Verſuche zu einer Zeit angeſtellt wurden, als man über das Verhältniß der Beſtandtheile zur Kryſtallform noch ſehr unrichtige Vorſtellungen hatte.

Chevreuil Diction. des Sc. natur. Art. Cristallisation hat wenig eigenthümliches.

Laſpe Iſis von Oken 1824. p. 29. Einige gute Beobachtungen. Die Kryſtallographie iſt ihm ein ganz fremdes Gebiet.

Gmelin in Gehler's Wörterbuch Art. Kryſtallogenie hat eine ſehr klare Ueberſicht der hierher gehörigen Meinungen und Beobachtungen gegeben.

Gelegentliche Bemerkungen finden ſich in den Arbeiten aller, welche künſtliche Kryſtalle beſchrieben haben, beſonders von Mitſcherlich und Brooke.

§. 104. Die Geſetze der Kryſtallogenie kann man recht gut bei einem im Felde des Mikroſkops kryſtalliſirenden Salze beobachten. In einem einzigen Tröpfchen ſieht man oft eine größere Mannigfaltigkeit der Bildungen als in einer Reihe von Kryſtalldruſen aus verſchiedenen Fundorten. Man kann der Concentration und die Beſchaffenheit der Auflöſung und die Unterlage nach Belieben abändern, die Größe der auf die Unterlage projecirten Winkel kann mit einem ſehr einfachen Hilfsmittel ſo genau gemeſſen werden, als mit dem Anlege-Goniometer und durch Mikrometer mit beliebiger Genauigkeit. Ich fing bei meinen Verſuchen mit den Kryſtallen des teſſeralen Syſtems an, deren Geſetze am leichteſten erkannt werden können, und beobachtete ihre Kryſtallform und die Art der Gruppirung auf Unterlagen von Glas, gefirnißt und ungefirnißt, und auf Kryſtallblättchen verſchiedener Art und ging dann zu den minder einfachen Syſtemen über. Die Reſultate meiner Beobachtungen werde ich, wenn ſie beendigt ſein werden, an einem andren Orte bekannt machen. Einiges habe ich ſchon in die folgenden Paragraphen aufgenommen.

a. Verbindung homogener Kryſtalle.

§. 105. Wenn man einen Kryſtall, der in ſeiner Bildung begriffen iſt, zuerſt wahrnimmt, ſo ſieht man ihn niemals im Innern der Flüſſigkeit, ſondern an ihrer Oberfläche gegen die Luft oder gegen das Gefäß, wobei man ſchon gebildete Kryſtalle als einen Theil des Gefäßes anſehen muß.

Hierbei ſind drei Fälle zu unterſcheiden: erſtlich, wenn der Kryſtall in demſelben Flüſſigen oder Gaſe erſtarrt iſt, wo er fortwächſt; zweitens, wenn er an einem andren Orte entſtanden iſt

und die neue aber gleichartige, kryſtalliſirende Materie legt ſich an ihn an; oder drittens zwei ſchon gebildete Kryalle legen ſich an einander.

Fortwachſen eines Kryſtalls.

§. 106. Um die Geſetze des Fortwachſens kennen zu lernen, müßte man den Kryſtall in eine Lage verſetzen, wo der kryſtalliſirende Stoff ihn auf allen Seiten in gleicher Menge umgiebt. Dieſes iſt nun ſelten der Fall, z. B. wenn die Kryſtalliſation innerhalb einer Gallerte ſtatt findet, welche den ſich bildenden Kryſtall ſchwebend erhält, z. B. eine Alaunlöſung in Thonerde. Auf eine ähnliche Weiſe ſind wahrſcheinlich die Granate und andre Kryſtalle in porphyrartigen Maſſen gebildet. Die Kryſtalle ſind dann immer ſehr regelmäßig, d. h. kryſtallographiſch gleiche Linien und Flächen haben auch eine gleiche Ausdehnung; allein die Umſtände ſind einer Beobachtung der relativen Vergrößerung verſchiedener Linien im Kryſtall nicht günſtig. Man erkennt dieſe beſſer unter dem Mikroſkope, wo die Anzahl der Kryſtalle ſehr groß und ihr Volumen gegen das der umgebenden Flüſſigkeit ſehr klein iſt. Die auf die Fläche der Unterlage perpendiculäre Dimenſion bildet ſich freilich immer auf eine eigenthümliche Weiſe aus, aber allen der Unterlage parallelen Linien iſt der neu kryſtalliſirende Stoff auf gleiche Weiſe zugewendet.

Man beobachtet zuvörderſt, daß der Kryſtall bei ſeinem Anwachſen nur in der abſoluten, aber nicht in der relativen Größe der horizontalen Dimenſionen eine Veränderung erleidet. Die Flächen, welche ſich an den größeren Kryſtallen vorfinden, werden auch, ſo weit das Auge reicht, in faſt derſelben relativen Größe an den kleinſten Kryſtallen beobachtet, ſo daß man zu der Annahme berechtigt iſt, daß die Flächen, welche an dem großen vollendeten Kryſtall vorkommen, auch ſchon bei den erſten Rudimenten des Kryſtalls vorhanden waren.

Ferner ſind kryſtallographiſch gleiche Linien von gleicher Größe. In dem auf einer ſeiner Flächen liegenden Kochſalzwürfel, kann die Höhe ſehr verſchiedene Werthe haben, aber die beiden horizontalen Dimenſionen ſind einander bei allen dem Rande der Auflöſung nicht zu nahe liegenden Kryſtallen vollkommen gleich; der Querſchnitt iſt ein Quadrat.

Bei verſchiedenen Dimenſionen, wie ſie im rhombiſchen und

den noch weniger symmetrischen Systemen sich vorfinden, ist die absolute Länge stets ungleich, aber auch hier scheint das Verhältniß für alle Individuen einer Varietät ganz unabhängig von ihrer absoluten Größe zu sein. Es hängt unstreitig von der Grundform ab, aber über die Art der Verbindung kann ich mich jetzt noch nicht mit Gewißheit aussprechen.

Wenn der krystallisirende Stoff nicht gleichförmig zutreten kann, so hört diese regelmäßige Fortbildung auf. Diejenigen Flächen, in deren Nähe die Flüssigkeit ihren höchsten Punct der Sättigung hat und sich am schnellsten erneuern kann, wachsen am stärksten. Diese Nebenumstände überwiegen das oben angeführte Gesetz des normalen Fortschreitens gewöhnlich so sehr, daß alle Körper jede beliebige Form an nehmen können, die körnige, fasrige oder blättrige, welches Verhältniß auch ihre Dimensionen haben mögen (Siehe Cohärenz, Textur).

§. 107. Eine Abnormität andrer Art sind die Zellen und ihr Gegensatz die Furchen. Bei jenen war die Vergrößerung an dem Umfange überwiegend und die Mitte bleibt leer; bei diesen fehlt dagegen die krystallisirende Materie an dem Umfange, einige Kanten bleiben frei, und der Krystall erlangt ein treppenförmiges Ansehen. Die Stufen sind hierbei bald so stark, daß man die beiden Flächen, aus welchen sie gebildet werden, leicht mit bloßem Auge unterscheidet, bald so klein, daß man sie kaum mit dem Mikroskope erkennt, und viele mögen ganz unsichtbar sein. Bald lassen die Furchen so viel Raum zwischen sich, daß noch eine dritte, die Kanten der Stufen abstumpfende Fläche vorhanden ist; bald, und dieses ist das Gewöhnliche, existirt eine solche Fläche nicht, und diejenige, welche man bei oberflächlicher Anschauung zu sehen glaubt, besteht aus zwei gegen einander geneigten bandförmigen Flächen. Auf diese Weise bilden sich bei dem Kochsalze und andren Krystallen dieser Klasse aus den Würfeln dem Anscheine nach Oktaeder und aus den Oktaedern scheinbar Würfel. Die Prismafläche des Quarzes besteht oft nur aus Pyramidenflächen, indem die Streifen so dicht an einander liegen, daß sie die Flächen der Prisma's ganz verdrängen. Aehnliche Beobachtungen kann man an natürlichen und künstlichen Krystallen machen, und wenn man sich auf das bloße Auge beschänkt, glaubt man sehr oft eine Fläche zu sehen, wo sich nur ein Aggregat von Kanten vorfindet.

Auffallend iſt hierbei der Anſchein von Regelmäßigkeit in der Breite der Furchen. Er rührt jedoch nur von der großen Anzahl derſelben her, wobei das Auge ſie einzeln nicht mehr beachtet, ſondern einen Totaleindruck erfährt. Mit dem Mikroſkope und oft ſchon mit dem bloßen Auge kann man die Unregelmäßigkeiten in der Breite der Streifen erkennen. Man ſollte erwarten, daß wenn der Zuwachs eines kleinen noch regelmäßig gebildeten Kryſtalls ungleichförmig fortſchritte, an die Stelle der Kryſtallfläche entweder eine Ebene oder was unendlich wahrſcheinlicher iſt, eine krumme Fläche entſtehen müßte, aber keine treppenförmige Fläche, und zuweilen mag auch eine Krümmung der Oberfläche aus dieſer Urſache entſpringen. Vielleicht ſind es kleine Wellenbewegungen in der Auflöſung, die ſelbſt in dem kleinſten Tropfen nicht fehlen, welche bei den Unterbrechungen in dem Fortwachſen der Kryſtalle das Stufenartige hervorbringen.

Wo Streifen ſich kreuzen, entſtehen Unebenheiten, ein Wechſel von Erhöhungen und Vertiefungen, die von mindeſtens drei Flächen begrenzt ſind.

Alle dieſe Streifen oder die Flächen der Rauheiten ſind daher Kryſtallflächen parallel und zwar vielleicht ohne Ausnahme den Hauptflächen, d. h. ſolchen, wo in den Coefficienten nur 1 oder 0 vorkommt. Die Durchgänge haben aber in dieſer Beziehung keinen Vorzug vor den übrigen Hauptflächen.

Dieſe Streifung, die nur auf der Oberfläche ſichtbar iſt, iſt ſehr verſchieden von einer andren, ebenfalls ſehr oft vorkommenden Streifung, die ſich auch in das Innere des Kryſtalls und auf die friſchen Durchgänge fortſetzt und nicht von Unterbrechungen im Wachſen, ſondern wahrſcheinlich von einer Ablagerung verſchiedener Individuen herrührt. Es ſind Abſonderungsflächen.

Parallele und gewendete Stellung.

§. 108. Wenn ein Kryſtall ſich nicht ſtetig vergrößert, ſondern nach einer Pauſe, die Secunden oder Jahrtauſende dauern kann, ſich eine andere, aber gleichartige Maſſe an ihn abſetzt, ſo kann die Verbindung auf ſehr verſchiedenartige Weiſe ſtatt finden. Bei allen denjenigen aber, bei welchen man ein gewiſſes Geſetz erkannt hat, iſt die Verbindung ſo, daß zwei kryſtallographiſch gleiche Flächen beider Kryſtalle einander decken, d. h.

daß alle innerhalb dieser Fläche befindlichen gleichartigen Kanten auf einander fallen.

Alle außerhalb dieser Berührungsfläche liegenden, einander entsprechenden Linien der beiden Krystalle sind mit der Normale der Berührungsfläche stets in einer Ebene und machen gleichen Winkel mit ihr. Aber hier sind zwei Stellungen möglich.

1. Wo jene zwei Winkel auf verschiedenen Seiten der Normale liegen, die beiden Linien also einander verlängern. Die parallele Stellung.

2. Wo jene zwei Winkel auf dieselbe Seite der Normale fallen, die Berührungsebene also alle Winkel zwischen gleichartigen Linien halbirt. Die geneigte Stellung.

§. 109. Die parallele Stellung bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung. In den zwei Individuen fallen alle gleichartigen Linien zusammen und man würde sie für einen Krystall halten können, wenn nicht das Dasein einspringender Winkel oder die Beschaffenheit der Nebenflächen auf eine Verschiedenheit der bei der Bildung der Krystalle statt findenden Ursachen hinwiesen.

Oft legt sich an den zweiten Krystall ein dritter nach gleichem Gesetze u. s. f. Aber sämmtliche Krystalle können immer als ein Ganzes angesehen werden. Die Durchgänge gehen durch alle hindurch, das Licht wird wie von einem Krystalle gebrochen u. s. w.

Bei der Verbindung mit geneigter Stellung muß man diese Berührungsfläche nicht mit der äußeren Begrenzung beider Individuen, wo sie sich nach Vollendung ihres Wachsthumes treffen, verwechseln; denn diese hängt von zufälligen Umständen ab, von der Menge des krystallisirenden Stoffes und ist oft ganz unregelmäßig. Dieses hat die Beobachtung etwas erschwert und viele unrichtige Ansichten von der Zwillingsbildung veranlaßt. Die Hauptarbeiten sind von:

Mohs und Haidinger im Handb. der Mineralogie und Isis. 1825 p. 640 und 805.

Neumann Schweigg. Journ. 1831. LXIII. p. 444.

Weiß, Naumann, Burhenne, Breithaupt u. A. haben einzelne Beiträge gegeben.

Meine Darstellung weicht von den oben genannten wesentlich ab.

§. 110. Die Berührungsfläche der Individuen, die in geneigter Stellung verbunden sind, oder der Zwillingskrystalle, ist immer eine Krystallfläche, deren Coefficienten gewöhnlich 0 oder

1 sind. Wenn ihre Normale eine symmetrische Lage zur Krystallreihe hat, so fällt die geneigte Stellung mit der parallelen zusammen und man kann die Individuen immer als als einen Krystall ansehen. Dieses ist z. B. der Fall bei den Flächen 100 010 u. 001 des Systems mit rechtwinkligen Achsen und 100 des monoklinischen. Aber alle Flächen des triklinischen, alle übrigen Flächen der rhombischen und monoklinischen Systeme und die Flächen aller Doppelpyramiden können als Berührungsflächen bei Zwillingen auftreten.

Im Allgemeinen gehören die Flächen des einen Krystalls nicht zu denen, welche nach ihrer Lage in dem andern Krystall krystallographisch möglich sind. Es ist also nicht möglich, drei Linien zu finden, welche für beide Krystalle als Achsen dienen könnten. Außer einigen ganz speciellen und wahrscheinlich niemals eintretenden Fällen machen nur die hemiedrischen Formen eine Ausnahme von dieser Regel, indem oft die Fläche des einen Individuums den weggefallenen oder physisch verschiedenen Flächen des andren parallel werden.

Die merkwürdigste Art von Zwillingen findet sich in einigen Varietäten des Quarzes, besonders dem Amethyst. Die Krystalle berühren sich in einer Prismenfläche. Alle Prisma- und Pyramidenflächen sind daher parallel, aber die schiefen Abstumpfungen der Kanten, welche die Pyramidenflächen mit dem Prisma machen, haben in beiden Krystallen eine entgegengesetzte Lage; in dem einen Krystall sind sie rechts, in dem andren links gewunden (Brewster Edinb. Trans. IX. p. 139; Schweigg. Journ. 1831. LXI. p. 1). Die beiden Individuen, obgleich einander gleich und ähnlich, können einander nicht decken (§. 16.).

Man hatte sich die Verbindungsart der Zwillinge so vorgestellt, als wenn in einem in der Mitte durchschnittenen Krystall die Hälfte um 180^0 oder 120^0 gedreht würde; oder daß zwei Krystalle mit der Oberfläche an einander gelegt und um denselben Winkel aus einander gedreht wurden. Diese Vorstellung ist für die meisten Fälle recht anschaulich, aber abgesehen davon, daß die Zwillinge so nicht entstanden sein können, auch nicht ganz richtig.

§. 111. An die beiden Individuen können sich noch andere nach ähnlichen oder nach verschiedenen Gesetzen legen. Der dritte Krystall ist zuweilen dem ersten parallel, ohne ihn zu berühren, und man hat Beispiele, daß die Individuen so an einander liegen, daß der erste, 2., 3., 5. Krystall und dann wieder der 2., 3., 6. parallel war. Diese Anordnung findet sich z. B. bei Kalkspath-

blättchen, die mit einer der Hauptdurchgangsflächen über einander geschichtet sind. Ein Lichtstral wird an jeder Grenze zweier Individuen von Neuem gebrochen und eine Vervielfältigung der Bilder im Kalkspath dadurch hervorgebracht (Brewster Phil. Trans. 1815. p. 27). Aehnliches kommt im Amethyst, im Glimmer u. a. vor.

Zuweilen reihen sich die Individuen so aneinander, daß 3, 4, oder 6 Individuen ein geschlossenes Ganze ausmachen, z. B. im Analcim (Brewster), Corund (Hauy), im Eis der Schneesterne, die von vielen, aber am besten von Scoresby in seiner Beschreibung der Polarländer beobachtet und gezeichnet sind, im Fenstereis von Hessel, im Apophyllit (Brewster); Aragonit und Salpeter (Herrschel, Marx, Erman), Feldspath (Weiß, Neumann, Breithaupt, Kobell) u. v. a. Combinationen dieser Art haben einem Krystalle oft den Anschein einer höheren Symmetrie gegeben, als er besitzt, indem sogar die Optik, die uns oft so scharfe Beobachtungsmittel darbietet, uns hier verläßt. Man hielt z. B. das schwefelsaure Kali, schwefelsaure Nickel, Zink für optisch einfacher als sie sind.

§. 112. Zuweilen läßt sich der dritte Krystall durch ein andres Zwillingsgesetz als das, welcher zwischen dem ersten und zweiten und diesem und dem dritten stattfindet, auf den ersten reduciren. Dieses ist jedoch nur selten und gewöhnlich stehen sie in gar keiner einfachen Beziehung gegen einander. Setzt sich dieses noch durch einige Glieder fort, wobei die letzten oft dicht an dem ersten zu liegen kommen, und ist man dann außer Stande, die Uebergänge zu verfolgen, so scheinen die Individuen ganz regellos neben einander zu liegen. Hin und wieder behält aber selbst eine große Anzahl von Individuen noch eine gewisse Regelmäßigkeit bei, z. B. die Kalkspathkrystalle im Marmor, die oft so gelagert sind, daß der Stein eine Durchgangsfläche behält, die durch alle Individuen hindurchgeht.

Aber dieses ist Ausnahme. In den meisten unsrer Drusen sieht man zwischen den Individuen gar keine regelmäßige Lagerung mehr. Dessen ungeachtet halte ich es für sehr wahrscheinlich, daß alle unsren krystallreichen Drusen sich auf einen oder doch sehr wenige regelmäßige Krystallaggregate reduciren lassen. Unter dem Mikroskop sieht man oft viele Tausende von Individuen ganz regel-

mäßig, gewöhnlich dendritiſch, wo die Aeſte unter gewiſſen jeder Kryſtallreihe eigenthümlichen Winkeln ausgehen, an einander gelagert, und man kann die einzelnen von einander unabhängigen Anſchießungspuncte deutlich unterſcheiden. Daſſelbe iſt auch bei den andern ſogenannten Vegetationen z. B. bei dem dendritiſchen Bau der reducirten Metalle deutlich. Was dort bei ſehr kleinen Individuen und auf der Fläche ſtattfindet, iſt unſtreitig auch im Raume und bei größern Kryſtallen, und könnte man, die ſcheinbar unregelmäßige Salzmaſſe verfolgend, den vielfach verſchlungenen Knoten entwirren, ſo würde man auch hier die Regelmäßigkeit finden, welche man unter dem Mikroſkope in dem Beginne der Bildung wahrnimmt. Denn in einer ſchon im Anſchießen begriffenen Salzmaſſe finden ſich nicht leicht neue Centra der Kryſtalliſation.

b. Verbindung heterogener Kryſtalle.

§. 113. Heterogene Subſtanzen verbinden ſich wie homogene, regelmäßig und regellos, bald gehen die heterogenen allmälig in einander über, bald ſetzt ſich ein Stoff an einen andern ſchon längſt gebildeten an.

Bei iſomorphen Körpern treten ſolche Verbindungen am leichteſten ein. Wenn zwei iſomorphe Salze in Waſſer aufgelöſt ſind, ſo entſtehen ſie nicht in getrennten Kryſtallen, ſondern beide gehen eine phyſiſche Verbindung ein. Man ſieht oft, daß anfangs bloß die eine Subſtanz anſchießt, aber während des Fortwachſens immer mehr von der andern Subſtanz aufnimmt, bis endlich die Beſtandtheile des Kryſtalls, wenn er vollendet iſt, an dem zuletzt gebildeten Ende zuweilen ganz verſchieden ſind von denen an dem zuerſt gebildeten.

Auch unter natürlichen Kryſtallen ſind Beiſpiele ſeiner allmäligen Umwandlung nicht ſelten, und nichts iſt z. B. gewöhnlicher als zu ſehen, daß die Farbe ſich in einem ununterbrochenen Individuum von einem Ende nach dem andren hin verändert, z. B. im Flußſpath, im Saphir, im Zirkon, Baryt, Kalkſpath u. a. m.

Bei Körpern des teſſeralen Syſtems oder in andren Syſtemen, wo die Iſomorphie als Identität angeſehen werden kann, hat es keine Schwierigkeit, ſich das Fortwachſen vorzuſtellen. Aber der Kalkſpath kann ſich nicht in Talk- oder Eiſenſpath verwandeln, ohne eine beträchtliche Veränderung in der Lage ſeiner Durchgänge zu

erleiden, und es iſt möglich, daß die Krümmungen, die man in dem Innern der Kryſtalle wahrnimmt, zum Theil von ſolchen Uebergängen herrühren (Siehe Cohärenz, Textur abnormer Individuen). Von dieſen Uebergängen finden ſich faſt in allen Kryſtallgattungen, welche ein Vicariiren von Beſtandtheilen zulaſſen, Beiſpiele vor. Am leichteſten zeigen ſie ſich durch eine abweichende Färbung. Diamant und Quarz, welche keine merkliche Veränderung in ihren Beſtandtheilen erleiden, haben auch keine von Beimiſchung herrührenden Variationen der Färbung. Viele Beiſpiele bei künſtlichen Salzen haben Mitſcherlich, bei natürlichen Verbindungen Richter (Baumgartner Journal 1833. 2. p. 111), Soret (Mém. de Genève I. p. 318) u. a. m. gegeben.

§. 114. Wenn ein Kryſtall in eine ſolche Lage gebracht wird, daß ein iſomorpher Körper aus einer Auflöſung oder durch Sublimation an ihm kryſtalliſiren muß, ſo legt ſich dieſer oft regelmäßig und zwar in paralleler Stellung an. Von einer regelmäßigen Anlegung in geneigter Stellung iſt mir kein Beiſpiel bekannt, obgleich ich nicht zweifle, daß man ſie ebenfalls finden wird.

Dagegen iſt es ſehr gewöhnlich, in den Nebenflächen eine Veränderung zu finden, ſelbſt dann, wenn der ſpäter angewachſene Kryſtall mit dem frühern in ſeinen chemiſchen Beſtandtheilen ganz übereinſtimmend iſt. Ueber die Art, wie die Differenz zwiſchen iſomorphen Kryſtallen ſich ausgleicht, fehlt es auch hier an Beobachtungen. Es ſcheint jedoch, daß in der Kalkſpathgruppe nicht die Hauptachſe der beiden Individuen gemeinſchaftlich iſt, ſondern einer der Hauptdurchgänge.

Ein Anlegen in paralleler Stellung findet ſich außer bei den im §. 113 erwähnten Körpern auch im Chrom- und Eiſenoxyd (Wöhler), Chrom- und Thonerdealaun (Berzelius), Alaun und ſalpeterſauren Blei, Spatheiſenſtein und Kalkſpath (Wackernagel), ſalpeterſaurem Natron und kohlenſauren Kalk (Marx), ſchwefelſauren Eiſen und ſchwefelſauren Zink oder Kupfer (Mitſcherlich).

§. 115. Schon bei iſomorphen Kryſtallen iſt eine regelloſe Ablagerung nicht ſelten. Noch häufiger ſcheint ſie zu ſein, wenn die Kryſtalle nicht einmal einer Familie angehören. Wenn man aber einen Tropfen einer Salzlöſung auf Glimmer oder Gyps kryſtalliſiren läßt, ſo findet oft ein conſtanter Parallelismus zwiſchen ge-

wiſſen kryſtallographiſchen Linien des Blättchens und des Salzes ſtatt. Unter den natürlichen Kryſtallen hat man ebenfalls nicht ſelten eine regelmäßige Ablagerung beobachtet. Ich will die mir bekannt gewordenen Beiſpiele hier mittheilen.

Flußſpath und Schwefelkies ſtellen ſich ſo, daß die drei Hauptachſen des teſſeralen Syſtemes parallel ſind (Marx Kaſtn. Arch. 1825 V. p. 306). Fahlerz und Bleiglanz ebenfalls (Wakkernagel).

Von Kryſtallen, die verſchiedenen Klaſſen angehören ſtellen ſich regelmäßig an einander: Schwefelkies und Kalkſpath (Hauy Traité de Mineral. Edit. 2. I. p. 320), Magneteiſenſtein und Chloritblättchen (Breithaupt Schweigg. Journ. 1829. LV. p. 308), Rutil die langen Prismen ſenkrecht auf den Pyramidenflächen des Quarzes (Marx Kaſtn. Archiv 1827 XII. p. 220), Skapolith und Glimmer (Marx Schweigg. Journ 1829 LVII. p. 183), Schwefelſaurer Nickel und ſchwefelſaures Nickelkali (Wollaſton Ann. of Ph. 1818. XI. p. 286), Kalkſpath und Quarz (Phillipps Phil. Mag. Ann. II. p. 122). Kalkſpath und Glimmerblättchen, dieſe einem Hauptdurchgange des Kalkſpaths parallel, (Breithaupt Schweigg. Journ. 1829 LV. p. 308. Rauthenſpath und Asbeſt (Breithaupt), Amethyſt und Brauneiſenſtein (Marx Schweigg. Journ. LII. p. 96). Quarz und Albit im Schriftgranit.

Glimmerblättchen und Hornblende die Hauptdurchdurchgänge parallel. Glimmerblättchen verſchiedener Art mit parallelem Durchgange neben einander liegend (Biot Mém. de l'Acad. 1818. p. 314); Brewſter Ed. Journ. of Sc. 1825 p. 206; Weiß Karſten. Archiv 1832 II. p. 566).

Die Combinationen von Augit, Hornblende und Diallage hat die Mineralogen am meiſten beſchäftigt, indem ſie ſo häufig vorkommt und mit ſo eigenthümlichen Winkelverhältniſſen, daß man anfangs glaubte, dieſe drei geologiſch ſo wichtigen Species vereinigen zu können. Die Abſtumpfung der ſcharfen Augitkante iſt parallel der Abſtumpfung der ſtumpfen Hornblendekante, alſo zwei ſtarke Durchgänge parallel (Haidinger Gilb. Annal. 1823. LXXV. p. 361; Köhler Pogg. Annal. 1827. XI. p. 200; 1828. XIII. p. 101; am genaueſten G. Roſe Pogg. Annal. 1831. XXII. p. 321; 1833. XXVII. p. 102; 1834. XXXI. p. 613). Bei der

Mehrzahl der Verbindungen lagen alſo Hauptdurchgänge der Kryſtalle auf einander.

Die Anzahl der Beiſpiele würde gewiß ſehr vermehrt werden, wenn man ein größeres Mineralienkabinett in dieſer Beziehung ſtudiren wollte. Auch die Anflüge, welche man ſo oft auf der Oberfläche von Kryſtallen ſieht, würden ſich vielleicht größtentheils als regelmäßige Ablagerungen zeigen.

§. 116. Bei Afterbildungen ſieht man ebenfalls, es mag von dem frühern Stoffe noch ein Theil vorhanden ſein oder nicht, daß der neue Kryſtall ſich regelmäßig gegen den frühern gelagert hat. Ja es ſcheint, daß dieſes immer der Fall iſt, wo der zweite Stoff den erſten unmittelbar verdrängt.

Haidinger (Pogg. 1827. XI. p. 366) beobachtete Bleiglanzwürfel in der äußern Form von phosphorſaurem Blei, ſo daß zwei Würfelflächen den Seiten des ſechsſeitigen Prisma's und zwei den Endflächen parallel waren. Aehnliches hat man bei Quarz gefunden, den der Kalkſpath zum Theil verdrängt hatte.

§. 117. Selbſt auf unkryſtalliſirten Subſtanzen lagert ſich eine kryſtalliſirende Subſtanz nicht ganz willkürlich ab. Das Kochſalz legt ſich immer mit einer Würfelfläche auf den Boden des Gefäßes; eben ſo legen ſich andere Kryſtalle mit einer für alle identiſchen Fläche auf den Boden auf, und nicht etwa wegen der Schwere; denn mit derſelben Fläche legen ſie ſich auch auf die Seitenwände des Gefäßes. In dem horizontalen Querſchnitt ſieht man jedoch nichts conſtantes, ihre Kanten nehmen jede Richtung an.

Bei Afterformen, z. B. den Verſteinerungen der Conchylien, ſcheint auch hierin ein gewiſſes Geſetz ſtatt zu finden. Der kohlenſaure Kalk z. B. legt ſich, nach Heſſel's Beobachtungen, in den Verſteinerungen der Encriniten in einer zu ihren Gliedern conſtanten Lage an.

Oberfläche der Kryſtalle.

§. 118. Bei der Oberfläche der Kryſtalle ſind 3 Umſtände zu berückſichtigen, das kryſtallographiſche Zeichen der Flächen, ihre Größe und ihre Glätte. Von den beiden letzten habe ich bereits geſprochen. Sie ſind ganz äußerliche, von zufälligen Umſtänden abhängige Erſcheinungen und ändern ſich mit dem Wachſen des Individuums.

Die Flächen dagegen bleiben conſtant. So wie ſie im Kryſtall ſind, der aus Mangel an Material nicht mehr wächſt, ſo waren ſie auch, als er durch ein ſtarkes Mikroſkop eben ſichtbar wurde, mit derſelben relativen Größe (§. 106). Sie ſind alſo von all' den Umſtänden, welche auf die abſolute Größe des Kryſtalles einwirken, unabhängig.

§. 119. Ueber die Urſachen, welche das Erſcheinen dieſer oder jener Fläche aus der Kryſtallreihe beſtimmen, haben ſchon Le Blanc, und ſpäter Beudant in ihren oben (§. 103) citirten Abhandlungen viele Verſuche angeſtellt, aus denen man den Schluß zog, daß die Nebenflächen von der Temperatur, der Concentration der Auflöſung, der Beſchaffenheit der Gefäße, der Beimengung fremder Stoffe u. a. m. herrühren. Der Umfang der Urſachen iſt ſo weit gezogen, daß wir damit in unſren Kenntniſſen wenig gewinnen können. Daß aber der Grad der Concentration unmittelbar ganz ohne Einfluß iſt; davon habe ich mich durch Verſuche mit dem Mikroſkope überzeugt. Durch eine Abänderung in der Geſchwindigkeit der Kryſtalliſation wird zwar die Größe der Kryſtalle verändert, ſie werden mehr oder weniger regelmäßig und glatt, und inſofern die Streifung ſcheinbar neue Flächen erzeugt, z. B. aus dem Würfel ein Oktaeder macht, kann man auch die Nebenflächen von der Geſchwindigkeit der Ablagerung abhängig glauben. Aber dieſes iſt nur Täuſchung. Eben ſo wenig wirkt die Temperatur.

Was nun eine Beimengung fremder Körper betrifft, ſo hält man dieſe für die Haupturſache der Verſchiedenheit der Nebenflächen und mehrere Beobachtungen ſcheinen dafür zu ſprechen. Wenn ſie aber in der That den Einfluß hätte, den man ihr zuſchreibt, ſollte man nicht erwarten, daß von den vielen in einer Kryſtallreihe möglichen Combinationen die eine Species einer Gattung dieſe, die andre Species jene Combination vorziehen werde? Etwa der Kalkſpath das erſte Rhomboeder, der Talkſpath das zweite, der Eiſenſpath das ſechsſeitige Prisma u. ſ. f. Aber von einer ſolchen Vertheilung der Combinationen findet ſich keine Spur, und die Gleichheit der Formen erſtreckt ſich bei den iſomorphen Kryſtallen auch auf die Combinationen. Auch nimmt man z. B. bei dem Kalkſpath ſelbſt nie Spuren von Beziehungen zwiſchen einigen Nebenformen und einer chemiſchen Beimiſchung wahr.

Dagegen ſah ich oft ſehr verſchiedene Kryſtallformen und Ag-

gregationen entſtehen, je nachdem ich das Salz auf Glas oder auf einer ſchwer zu benetzenden Firnißſchicht oder auf Glimmer oder auf einem Gypsblatte kryſtalliſiren ließ. Ein homogener Kryſtall nöthigt das kryſtalliſirende Theilchen zu einer ſolchen Lage, daß ſeine homologe Fläche der Berührungsfläche parallel wird. Ein heterogener Kryſtall wirkt minder entſcheidend, doch bringt auch er in der kryſtalliſirenden Subſtanz eine beſtimmte, von ihm abhängige Stellung hervor. Der Boden eines Gefäßes hat die Kraft die Kryſtalliſation ſo zu determiniren, daß er in einer gewiſſen Fläche von dem Kryſtall berührt wird. Iſt dieſe Fläche einmal gegeben, ſo werden im Allgemeinen auch für die übrige Begrenzung des Kryſtalls engere Grenzen gezogen ſein. Es iſt alſo gewiß, daß die Anziehungskraft zwiſchen der Unterlage und dem kryſtalliſirenden Körper einen ſehr bedeutenden Einfluß auf die Geſtalt des Kryſtalles hat, und es bleibt bloß übrig zu unterſuchen, ob ſie zu ſeiner Beſtimmung hinreicht. Ich bin geneigt, ſie für die einzige Urſache zu halten. Denn die Anweſenheit fremder, der Auflöſung beigemengter Stoffe wirkt vielleicht entweder dadurch, daß ſie dem kryſtalliſirenden Körper neue Stützpuncte darbieten, oder daß ſie den Einfluß des Gefäßes auf das kryſtalliſirende Theilchen modificiren.

II. Kryſtalliſationskraft.

§. 120. So will ich die Kraft nennen, wodurch die abſolute Lage der Kryſtallachſen beſtimmt wird. Die relative Lage gehört dem Körper an ſich an und iſt, wenigſtens im Sinne der Atomiſtik, kein Product einer äußern Kraft. Die Geſetze einer phyſiſchen Kraft können nur durch eine quantitative Bezeichnung ihrer Wirkungen anſchaulich werden. Bei der Kryſtalliſationskraft fehlt es uns dazu noch an Beobachtungen. Wir müſſen uns daher für jetzt mit einigen Andeutungen begnügen.

Sie wirkt, wie alle Cohäſionskräfte, nur in unmittelbarer Berührung, oder in der Sprache der Atomiſtik nur auf eine unmerkliche Entfernung mit merklicher Intenſität. Man hat zwar auch hier zuweilen ein Beiſpiel von einer Wirkung in die Ferne aufzufinden geglaubt. Aber entweder war die Beobachtung unrichtig, oder ſie muß auf eine andere Weiſe erklärt werden. Bei den von Wakkernagel (Kaſtner Archiv. 1825. V. p. 294) angeführten

Beobachtungen, wo die Krystallisationskraft durch Firniß oder durch Glas zu dringen schien, indem sich die krystallisirende Masse hier eben so anlegte, wie an den Krystall selbst, war es, so weit sie sich bestätigen, nicht der Krystall, sondern das Glas und der Firniß selbst, welche die Ablagerung bestimmten.

Man findet zuweilen, daß Krystalle von einer erkennbaren Größe in einer Auflösung schweben, bis sie sich in paralleler Lage an einander legen. Dieses hat Chamberlain (Ann. of Phil. 1823. VI. p. 131), am Naftalin; Wöllner Kastn. Archiv. 1825. VI. p. 370 am eisenblausauren Kali und Planiava (Kastn. Archiv 1827. X. p. 42), am salzsauren Baryt und chlorsaurer Kali beobachtet. Man erklärte auch dieses durch eine Wirkung in die Ferne. Es ist aber nur ein Beweis von der Fähigkeit zweier sich berührender und in einer Flüssigkeit schwebender Krystalle, sich so lange zu verschieben, bis sie in eine, ein bleibendes Gleichgewicht zulassende Lage gekommen sind.

§. 121. Die Krystallisationskraft ist also darin der Wärme ähnlich, daß sie ebenfalls nicht in die Ferne wirken kann, aber die Lage von zwei unmittelbar benachbarten Theilen zu ändern vermag. Allein sie ist verschieden von ihr, daß die Wärme auch in dem Innern der Körper wirkt, während die Krystallisationszraft sich dem Anscheine nach immer nur auf die Oberfläche der Krystalle beschränkt. Das dünnste Krystallblättchen zieht die krystallisirende Substanz eben so stark an, wie die dickste Platte. Wie die Elektricität ist sie daher eine Oberflächenkraft.

§. 122. Die Intensität der Krystallisationskraft zu messen, haben wir gar kein Mittel, da uns keine Wirknng von ihr bekannt ist, die man mit einiger Wahrscheinlichkeit der Kraft selbst proportional setzen könnte. Man weiß jedoch, daß sie auf krystallographisch und physisch gleichen Richtungen gleich ist. Ferner kann man mit Gewißheit annehmen, daß sie zwischen zwei Körpern, wenn zwei krystallographisch gleiche Linien in Wechselwirkung treten, stärker ist, als wenn sie eine andre Lage haben, oder die Körper nicht homogen sind. Und zwar gleicht die Wirkung der Krystallisationskraft in dieser Beziehung der eines Magneten, nur mit dem Unterschiede, daß sie sich in keine merkliche Entfernung erstreckt. Wenn ein Magnet sich die freundschaftlichen Pole eines andren Eisenstückes zuwendet, wenn es schon magnetisch ist, und den Magnetismus in

einer der Anziehung günſtigen Lage vertheilt, wenn es noch indifferent iſt, ſo iſt es auch bei der Kryſtalliſation. Denn aus den Verſuchen von Planiava u. a., die ich oben (§. 120.) angeführt habe, und aus mehreren Bewegungen im Innern der feſten Körper, von denen ich ſpäter reden werde, geht hervor, daß bereits gebildete Kryſtalle ſich ſo wenden, daß in der Berührungsfläche alle homologen Linien ſich decken, und wo der Körper noch in ſeiner Bildung begriffen iſt, legen ſich die neuen Kryſtalle ganz parallel den früher gebildeten an.

§. 123. Von der Ueberlegenheit des Einfluſſes, den eine kryſtalliſirende Subſtanz von einem homogenen Kryſtalle erleidet, über den, welchen ſie von heterogenen Stoffen zu erfahren hat, bietet folgende Erſcheinung einen überzeugenden Beweis.

Es iſt bei Metall, Schwefel, Phosphor, Waſſer, Oelen, Eſſigſäure, bekannt, und findet wahrſcheinlich bei allen Körpern ſtatt, daß ſie, wenn ſie ſtarr ſind, nicht über eine gewiſſe Temperatur hinaus erwärmt werden können, ohne flüſſig zu werden, daß ſie aber, wenn ſie flüſſig ſind, mehr oder weniger unterhalb ihres Froſtpunctes erkaltet werden können. Ganz eben ſo verhalten ſich Salzlöſungen, und wahrſcheinlich jede andre flüſſige phyſiſche Verbindung. Man kann niemals mehr als eine gewiſſe, von der Temperatur abhängige Quantität von einer feſten, vielleicht auch einer flüſſigen Subſtanz auflöſen; aber einmal aufgelöſt und erkaltet kann weit mehr von dem Salze in der Flüſſigkeit bleiben. Beſonders groß iſt der Ueberſchuß bei eſſigſaurem und ſchwefelſaurem Natron und andren Natronſalzen. Ich will beide Erſcheinungen, ſowohl wo der Körper unzerſetzt erſtarrt, als da, wo ſich nur ein Theil abſcheidet, unter der Benennung Ueberſchmelzung zuſammenfaſſen. Dieſe verzögert die Kryſtalliſation allezeit, einen einzigen Umſtand ausgenommen, nämlich die Anweſenheit eines dem ſich bildenden Stoffe homogenen Kryſtalls. Der kleinſte Glauberſalzkryſtall, in die überſättigte Auflöſung gebracht, bringt die ganze überſchüſſige Maſſe zum Erſtarren, das nun ſehr ſchnell und tumultuariſch von Statten geht und nur kleine und verworrene Kryſtalle zuläßt. Die Ueberſchmelzung iſt die Hauptſchwierigkeit, welche man bei der Bildung einzelner Kryſtalle zu überwinden hat.

§. 124. Man kann das Anſchießen einer unter ihrem Erſtarungspuncte befindlichen Flüſſigkeit auch auf andre Weiſe be-

wirken. Wenn ſie luftdicht verſchloſſen war, ſo läßt man Luft zutreten, oder man ſchüttelt die Auflöſung ſo, daß ſie mit bisher trockenen Theilen in Berührung kommt, oder man wirft fremde Körper hinein. Hier iſt es nicht die Anweſenheit dieſer Körper, welche die Wirkung hervorbringt; denn wenn ſie ſchon bei der Bildung der Auflöſung in ihr lagen, ſo ſind ſie ganz ohne Einfluß; ſondern ein mit dem Acte des Hineinwerfens verbundener Umſtand, vielleicht die Benetzung; auch an eine, den Spitzen eigenthümliche Wirkung iſt hier ſo wenig zu denken, als bei dem ähnlichen, aber ihrem Charakter nach verſchiedenen Proceſſe der Verſpätung des Siedens (Cohärenz der Flüſſigen §. 130.). Aber dieſe Mittel bringen nur dann eine Wirkung hervor, wenn die Ueberſchmelzung weit vorgerückt iſt, geringe Grade werden durch Schütteln und Hineinwerfen fremder Körper nicht aufgehoben. Dagegen der kleinſte Kryſtall ſchon hinreichend, auch ein Minimum überſchüſſigen Salzes an ſich zu ziehen, und der Mittelpunct eine Kryſtalliſation zu werden, die ſich bald durch die geſammte Flüſſigkeit verbreitet.

Bringt man in eine Löſung, in der mehrere Salze überſättigt ſind, verſchiedene Kryſtalle, ſo bewirkt ein jeder Kryſtall nur die Präcipitation des gleichartigen Stoffes.

§. 125. Auch hier wirkt die Kryſtalliſationskraft bloß in unmittelbarer Berührung. Wenn ſie ſich allmälig über die ganze Flüſſigkeit verbreitet, ſo rührt dieſes nur von dem Wachſen der Kryſtallnadeln her, die ſämmtlich an dem hineingelegten Kryſtall, oder an wenigen, in Folge der Erſchüttung der Flüſſigkeit zu Centralpuncten der Kryſtalliſation gewordenen Orten gebildet ſind.

Durch dieſe Ueberſchmelzung wird auch die Bildung iſolirter Kryſtalle möglich. Bei einer frei in einer Schale verdampfenden Auflöſung, ſollte ſich der ganze Boden gleichförmig mit einer Salzſchicht bedecken, da ſich die Bedingungen zur Kryſtallbildung überall vorfinden; deſſen ungeachtet entſtehen nur wenige Centralpuncte, wo ſich, je nach der Beſchaffenheit des kryſtalliſirenden Körpers und der Unterlage, bald einzelne Kryſtalle, bald an Individuen ſehr reiche Kryſtallaggregate bilden. Beide dehnen ſich aus, wenn die Flüſſigkeit verdampft; aber ſelten kommen ſie, wenn der Proceß langſam von ſtatten geht, in eine unmittelbare Berührung mit einander. Die Zwiſchenräume bleiben leer. Die Dendriten, in welche die Kryſtalle ſich zuweilen auf dem Objectenträger des Mikroſkopes bil-

den, weichen einander aus, ſo daß man zu der irrigen Meinung verleitet werden könnte, als ſtießen ſie ſich ab. Die Salztheile werden dabei aus den Zwiſchenräumen nach demſelben Geſetze gezogen, welches in den tieferen an der Luft verdampfenden Auflöſungen wirkt, wo das Waſſer an der Oberfläche verdampft und das Salz ſich dennoch an dem Boden anſetzt. Die Salzſchicht wird nämlich durch Verdampfung oder Abkühlung überſättigt und theilt dieſen Ueberſchuß den benachbarten Theilen der Auflöſung mit u. ſ. f.; aber die Auflöſung, welche die kryſtalliſirten Salztheile berührt, iſt jeder Ueberſättigung unfähig, und ſo geht allmälig das Salz an die Kryſtalle über. Nur wo die Ueberſättigung zu groß iſt und der Kryſtall den Ueberſchuß zu langſam aufnimmt, bilden ſich neue Kryſtalliſationscentra. Man kann daher dieſe Wanderung der Salztheile nicht mit der Zerſetzung zwiſchen den Polen eines galvaniſchen Apparates vergleichen, aber wol mit einem Deſtillationsproceß, wo der Ueberſchuß ſich ebenfalls nur an einem Orte niederſchlägt, wo die abſolute Dampfmenge am kleinſten iſt.

§. 126. Es iſt eine für die Kryſtallkunde ſehr intereſſante Frage, wie ſich iſomorphe Körper verhalten; ob z. B. in einer Auflöſung von ſalpeterſaurem Natron ein Kalkſpathkryſtall die Ueſättigung ebenfalls verhindert. Man müßte in die in einer flachen Schale oder auf einem Glaſe kryſtalliſirende Flüſſigkeit mehrere Kryſtalle bringen und beobachten, wo die durch Verdampfung ſich concentrirende Flüſſigkeit am früheſten anſchießt. Einige vorläufige Verſuche, die ich angeſtellt habe, machen es wahrſcheinlich, daß hier eine gewiſſe Wahlanziehung ſtatt findet. Auch bei nicht kryſtalliſirten Oberflächen zeigt ſich ein beträchtlicher Unterſchied in der Fähigkeit die Kryſtalliſation zu beſtimmen. Geölte oder gefirnißte Glasſcheiben wirken weit ſchwächer, und wo der Ueberzug nur theilweiſe iſt, ſucht das Salz ſich gern freie Stellen zum Anſchießen aus. Schwach benetzbare Körper ſcheinen daher eine weit ſtärkere Ueberſchmelzung zuzulaſſen als andre.

§. 127. Die Norm der Zwillinge habe ich oben (§. 108) gegeben, aber über ihren Urſprung haben wir nur Vermuthungen. Obgleich es Umſtände giebt, bei denen einige Körper, künſtliche wie natürliche, faſt ausſchließlich in Zwillingen vorkommen, ſo kann man ſie doch nicht für das Product eines ſtetig wirkenden Kryſtalliſationsactes halten, denn einmal entſtanden, wachſen ſie unabhängig

von einander fort. Vielleicht entſtehen ſie, indem zwei in dem Auflöſungsmittel ſchwebende kleine Kryſtalle ſich treffen, und an einander haften. Sie nehmen, ſo lange ſie noch recht beweglich ſind, eine ſymmetriſche Stellung an, parallel oder geneigt (§. 109). In jenem Falle hält man ſie für einen Kryſtall, in dieſem Falle werden ſie zu Zwillingen. Innerhalb einer gallertartigen Maſſe bilden ſich die Flächen einzelner Kryſtalle, die ganz unabhängig von einander ſind, gleichmäßig aus. Man darf ſich daher nicht wundern, wenn zuweilen auch die zwei einen Zwilling bildende Individuen eine beinahe gleiche Größe haben, obgleich ſie von einander durchaus unabhängig ſind. Dieſe Erklärung iſt jedoch nur hypothetiſch.

§. 128. Die Kryſtalliſationskraft beſtimmt alſo das Entſtehen des Kryſtalls, ſein Fortwachſen, die Bildung ſeiner Nebenflächen und die Art der Verbindung, ſowohl zwiſchen homogenen, als zwiſchen heterogenen Kryſtallen, und aller Wahrſcheinlichkeit nach auch zwiſchen einem Kryſtall und einem feſten Körper, bei dem man keine Kryſtalliſation wahrnehmen kann. Die Kraft ſelbſt wirkt zwar immer nur auf die Oberfläche, aber ſie läßt im Innern des Kryſtalls, als ein Product ihrer Thätigkeit, die Structur zurück; denn vermuthlich iſt es dieſelbe Kraft, welche zwei homogene getrennte Kryſtalle in eine parallele Lage bringt, die auch im Innern zwei Theile mit einer von der Richtung abhängigen Intenſität zuſammenhält, und die den äußeren Kräften entgegenwirkt. Von der Structur hängen aber alle relativen Erſcheinungen im Kryſtalle ab. Wir dürfen daher den Begriff der Kryſtalliſationskraft noch weiter über alle im Kryſtalle wirkenden Kräfte ausdehnen, nicht etwa als eine ſummariſche Benennung für mehrere von einander unabhängige Kräfte, wie die chemiſche Affinität oder der Galvanismus ſind, ſondern wie es eine Kraft iſt, durch welche zwei Leitungsdrähte einander anziehen oder abſtoßen, und durch welche ein elektriſcher Strom in einem Magnete oder in weichem Eiſen die Ablenkungen und Rotationen erzeugt, ſo iſt auch die Kryſtalliſationskraft als ein Princip anzuſehen, welches, unter verſchiedenen Umſtänden auftretend, die beſonderen untergeordneten Thätigkeiten erzeugt.

Sechster Theil.

Cohärenz der festen Körper.

§. 1. Diese Cohärenz umfaßt alle Erscheinungen, welche sich auf eine bleibende Aenderung in der Gestalt und der Dichtigkeit eines festen Körpers beziehen. Es ist der letzte und schwierigste Theil der Cohäsionslehre, derjenige, welcher sich einer wissenschaftlichen Bearbeitung am wenigsten zu erfreuen hat. Die Mathematik hat kaum seine Schwelle betreten. Die Beobachtungen sind zwar überaus zahlreich, aber nur in wenigen Puncten quantitativ genau. Es sind mehr gelegentliche Bemerkungen, als Früchte wissenschaftlicher Untersuchungen. Sie liegen ganz chaotisch neben einander. Es ist daher meine Absicht nicht, hier schon ein gerundetes Ganze zu geben; dieses überschreitet die vorhandenen Hilfsmittel. Ich will nur das Gebiet der Cohärenz abzustecken und die Masse des Einzelnen zu ordnen suchen. Die Ordnung allein wird schon manch' eine Thatsache, die isolirt ganz fremdartig erscheint, auf ihre Bedeutung zurückführen.

Aber die Anordnung ist schwierig. Die Erscheinungen zerfallen nicht, wie die Cohärenz der Flüssigen, in einige charakteristische Gruppen, sondern greifen überall in einander ein. Die Wirkung ist selten ein geschlossenes Factum, sie wird Ursache neuer ähnlicher Wirkungen. Von mehreren Anordnungen, die sich mir darboten, schien die folgende dem Wesentlichen der Erscheinungen am besten zu entsprechen.

Zuerst das Gefüge. Es ist der Boden, auf dem die Cohäsionskräfte thätig sind, zum Theil selbst ihre Ursache, immer ihr Product. Dann die Veränderungen, welche das Gefüge im Innern der festen Körper erleidet. Ich will sie Elementarbewegungen nennen. Man hat sie bisher größtentheils verkannt. Daß sie selbstständig und kräftig auftreten, wird der Inhalt des Abschnittes zeigen. Ferner das Maß der fremden Kräfte, die zu einer gewissen Veränderung nöthig sind. Sie combiniren sich mit den im Innern des Körpers wirkenden Kräften, und werden theils durch sie bedingt, theils erklären sie wiederum die Wirkungsweise der innern Kräfte. Zuletzt die Cohäsion zwischen heterogenen Körpern. Wir haben also vier Abschnitte:

1) Das Gefüge.
2) Die Elementarbewegungen.
3) Die Festigkeit.
4) Die Anziehung heterogener fester Körper.

Erster Abschnitt.

Das Gefüge.

I. Structur und Textur.

§. 2. Ich habe mich des Ausdruckes Gefüge schon oben im gewöhnlichen Sinne bedient. Es ist hier der Ort, die Begriffe schärfer zu bestimmen. Gefüge nennen wir die räumliche Beschaffenheit im Innern eines festen Körpers, die Art, wie die Materie den Raum ausfüllt, ohne jedoch auf die Frage über Continuität oder Discretion der Theile zurückzugehen. Es enthält zwei wesentlich verschiedene Momente, die Structur und die Textur. Die Structur bezieht sich auf die Verhältnisse der Cohäsionskräfte, welche in einem Theile nach verschiedenen Richtungen hin statt finden; die Textur auf die Kräfte, welche in verschiedenen Theilen des Körpers thätig sind.

§. 3. Die Textur ist stetig, wenn in den Kräften zweier unmittelbar benachbarter Theile kein endlicher Unterschied statt findet, und also in zwei von einander getrennten Theilen entweder gar kein Unterschied ist, oder ein allmälig vermittelter. Der Körper ist daher von raschen Sprüngen und Unterbrechungen jeder Art frei.

Sie ist unterbrochen, wo solche Unterbrechungen sich vorfinden: entweder, indem eine sonst stetig zusammenhängende Masse Höhlungen oder Spalten, Poren enthält; oder indem der Körper zu einem Aggregate von Individuen wird, die an ihrem Berührungsort nicht stetig zusammenhängen. Die Zwischenräume sind entweder leer, oder mit fremden Stoffen gefüllt; oder zwei ganz gleichartige Materien berühren sich zwar unmittelbar, aber nicht mit paralleler Stellung, etwa wie Zwillinge bei den Krystallen, oder ganz regellos.

Die Textur eines poröſen Körpers oder eines Aggregates hängt von der Geſtalt und der relativen Größe der Poren oder der einzelnen Individuen ab. Bei den Aggregaten kann man drei Hauptformen unterſcheiden, die aber durch alle Mittelglieder mit einander verbunden ſind.

1) Vorherrſchen keiner Dimenſion, Körner.
2) Eine Dimenſion iſt kleiner, Lamellen.
3) Eine Dimenſion iſt größer, Faſern.

Bei den Faſern und Lamellen kann nicht nur in der relativen Größe der vorherrſchenden und zurückgedrängten Dimenſionen die größte Mannigfaltigkeit ſtatt finden, ſondern auch in der Art, wie ſie neben einander gelagert ſind. Nicht ſelten iſt der Körper ein Aggregat von Lamellen, die wiederum aus Faſern oder Körnern beſtehen.

§. 4. Die Structur iſt normal, wenn jeder Theil im Innern eines Individuums für ſich im Gleichgewichte iſt. In dieſem Falle haben ſie in parallelen Richtungen gleiche Cohäſionskräfte. So iſt es in Kryſtallen, oder in Körpern, die wie Tropfen nach allen Seiten gleiche Kräfte haben; ein Zuſtand über deſſen Vorkommen ich hier nicht entſcheiden will. Er mag vorläufig amorph heißen (Siehe §. 44.).

Abnorm iſt die Structur, wo ein Theil bloß durch ſeine Verbindung mit den benachbarten in ſeiner Lage verharret; es iſt damit immer eine Abweichung in dem Parallelismus und der Gleichheit der Kräfte verbunden. Eine ſolche Abnormität findet z. B. ſtatt bei einem kryſtalliſirten oder amorphen Körper, der ein Gewicht zu tragen hat, bei einem Glimmerblättchen, das durch ſein eigenes Gewicht oder durch andere Kräfte gebogen, durch Anwachſen andrer Glimmertheile in dieſer Lage befeſtigt wird.

§. 5. Die beiden Arten von Structur können ſich mit jeder Textur verbinden. Dieſes giebt für das Gefüge der Körper vier Arten:

1) Normal, ſtetig.
2) Normal, unterbrochen.
3) Abnorm, ſtetig.
4) Abnorm, unterbrochen.

Bei allen dieſen können die Körper chemiſch homogen oder heterogen ſein. Bei der unterbrochenen Textur können die Zwi-

schenräume mit fremden Stoffen angefüllt sein. Aber auch bei den stetigen ist ein allmäliger Uebergang zwischen chemisch verschiedenen Stoffen sehr wol möglich (Siehe Krystallkunde §. 113). Das normal stetige Gefüge kann man auch im Gegensatze zu den übrigen gleichförmig nennen.

Beobachtungsweise.

§. 6. Man beobachtet das Gefüge durch jede davon abhängige Eigenschaft. Es sind ihrer vornehmlich drei:

1) Die Polarisation des Lichtes.
2) Die Cohäsionserscheinungen.
3) Das äußere Ansehen.

§. 7. Das Licht wird von den Körpern, die im Gefüge nicht ganz gleichförmig sind, auf eine andre Weise gebrochen und reflectirt als von normalen, stetigen Individuen. Es ist jedoch vornehmlich die Polarisation, welche uns über das Innere Aufschluß geben kann. In amorphen Körpern wird jede Polarisation auf eine Ungleichförmigkeit hinweisen. In Krystallen kann man die Abweichung von der regelmäßigen Polarisation beobachten. Da der Stral nur von derjenigen Linie bestimmt wird, in der er sich bewegt, so kann man den Körper nach allen Seiten untersuchen. Dieses Mittel ist sehr empfindlich. Zwar ist uns seine Sprache nur unvollständig bekannt, so daß man dadurch wol das Dasein einer Ungleichförmigkeit, aber nicht ihre Größe erkennen kann. Es läßt sich aber diese Aufgabe mit den vorhandenen mathematischen und physikalischen Hilfsmitteln beantworten.

§. 8. Die Elasticität und die Cohärenz sind von jeder Abweichung der Gleichförmigkeit des Gefüges abhängig. Gekrümmte Durchgänge deuten in den Krystallen auf Abnormität. Runde Klangscheiben aus amorpher Substanz (Siehe Krystallkunde §. 58), die, in der Mitte befestigt, an welchem Puncte ihres Umfanges sie erschüttert sein mochten, denselben Ton geben sollten, haben verschiedene Töne, sobald im Gefüge eine Ungleichförmigkeit statt findet. Aber beide Erscheinungen beziehen sich auf den Körper im Ganzen, das Individuelle einzelner Theile geht unter, und man bleibt im Zweifel, in wie fern eine Abweichung, die man beobachtet, von der Textur oder von der Structur abhänge.

§. 9. Das Ansehen der äußeren Oberfläche, die in

hohem Grade von fremden Ursachen abhängig ist, giebt in der Regel nur einen geringen Aufschluß. Wenn man dagegen die Körper durchbricht, oder die Oberfläche mit schwach auflösenden Substanzen behandelt, so gelingt es gewöhnlich, die Textur zu erkennen. Die auflösenden Flüssigkeiten dringen in die Zwischenräume, welche bei einem unterbrochenen Gefüge niemals fehlen, ein, scheiden einzelne kleine Theile, welche dem Ganzen ein homogenes Aeußere geben, aus, und legen die Textur bloß (Siehe Krystallisation §. 95.).

Durch das Zerbrechen wird erstlich eine neue Oberfläche gebildet, welche die von dem Gefüge abhängigen Erscheinungen deutlicher zeigt, als die freie Oberfläche. Zweitens werden durch den Act des Zerbrechens, der in den Zwischenräumen leichter von Statten geht, als durch das Innere der Individuen, die Unterschiede im Gefüge dem Auge vergrößert. Nur muß man sich hüten, mit dem Educt, das man findet, ein Product des Zerbrechens zu verwechseln. Die Durchgangsflächen, die bei dem Zerbrechen der Krystalle, die muschligen Flächen, die beim Glase oder beim Quarze frei werden, sind Producte; die Bruchflächen im Schiefer und Glaskopfe sind dagegen Educte.

II. Beobachtungen über das Gefüge.

a. Normale stetiger Krystalle.

§. 10. Die einzelnen Krystalle unterscheiden sich nach Gestalt und Größe. Die Gestalt hängt theils von der Krystallform ab, theils von Nebenumständen, welche dieser oder jener Seite eines wachsenden Krystalls mehr Stoff zuführen. Die Größe ist dagegen von der Krystallform ganz unabhängig, sondern bloß an die Beschaffenheit der Umstände, unter denen der Krystall sich bildet, und an die absoluten Cohäsionserscheinungen des krystallisirenden Stoffes gebunden (Siehe Krystallisation §. 50.).

Durch nichts wird unter sonst gleichen Umständen die Entstehung einzelner Krystalle mehr begünstigt, als durch eine Verminderung der Orte, wo sich der erstarrende Körper ansetzen kann. Statt einzelne Krystalle, entstehen Krystallhaufen, wenn sich an vielen Orten Krystallisations-Centra bilden. Durch das Zusammengießen zweier Flüssigkeiten erlangt man daher in der Regel nur kleine Krystalle. Denn an jedem Puncte, wo die kleinen sich kreu-

zenden Strömungen, z. B. von Barytlösung und Schwefelsäure, sich treffen, entsteht fester schwefelsaurer Baryt, der nirgends eine bedeutende Größe erreichen kann. Nur wo die Bildung des festen Körpers sehr langsam von Statten geht, wird der Niederschlag gröber. Weinsäure und Kalilösung z. B. geben einen Niederschlag, der um so krystallinischer ist, je langsamer er entsteht (H. Rose).

Auch die Sublimation ist der Bildung großer Krystalle selten günstig, weil es der Ansatzpuncte viele giebt, und kalte Luftströme den Dampf schnell abkühlen. Die Individuen sind dann gewöhnlich so klein, daß man sie nicht einmal mit dem Mikroskope erkennen kann. Wo diese Hindernisse fehlen, z. B. in Hochöfen, werden durch Sublimation oft schöne Krystalle gebildet.

Am sichersten erlangt man größere Krystalle aus langsam verdampfenden oder sich abkühlenden Auflösungen, oder bei sehr langsamen chemischen Processen. Auf diesem Wege hat man Metalloxyde und andre fast unlösliche Substanzen, die sich sonst nur in einem zarten Pulver bilden, als deutliche Krystalle erlangt, z. B. Kupfer-, Blei-, Kobalt-, Zinnoxyd, kohlensaurer Kalk und selbst Metalle bilden sich unter solchen Umständen zuweilen in ziemlich große, krystallinische oder in blechartige, knollige Massen, wobei der Galvanismus in so fern günstig wirkt, als er die Zahl die Ansatzpuncte sehr vermindert. Nur muß die Flüssigkeit rein und unbewegt sein. In bewegten Flüssigkeiten fallen kleine Krystalle auf die größeren, und bleiben unregelmäßig daran haften. Wenn feste Körper darin schwimmen, so bieten sich diese den Krystallen eben sowohl als Ansatzpuncte dar, wie das Gefäß selbst; die Krystalle werden zahlreich und klein. Wall sagt (Manchest. Mém. 1785. II. 419), daß ein Erbsen-großes Stück Harz in eine Salzsoolenpfanne gebracht, hinreicht, um das Salz feinkörnig zu machen; bei einem Wallnuß-großen Stücke würde sich gar nichts mehr niederschlagen.

So fein aber auch in allen diesen Fällen der Niederschlag sein mag, unter dem Mikroskop zeigt er sich, sobald die Theile einzeln sichtbar werden, als ein Aggregat von Krystallen, die sich von den unter den günstigsten Umständen gebildeten nur durch ihre Größe unterscheiden; niemals haben sie rundliche Formen. Selbst die Haut, mit der sich Kalkwasser auf seiner Oberfläche bedeckt, besteht nach Leeuwenhoek aus einem Aggregat von Krystallen.

b. Abnorme Kryſtalle.

§. 11. Vollkommen normale Kryſtalle ſind ſehr ſelten. Selbſt bei ganz glatten Kryſtall- und Durchgangsflächen findet man zwiſchen kryſtallographiſch gleichen Winkeln oder den Reſultaten der Rechnung und der Beobachtung Abweichungen von einigen Minuten, die nur von einer Krümmung herrühren können. Zuweilen iſt die Krümmung der Durchgänge ſo ſtark, daß ſie auch ohne Meſſung ſichtbar wird. Die Fläche wird convex oder concav, zuweilen ſattelförmig und die Kante U oder Sförmig gebogen. So iſt's zuweilen im Diamant, dem Turmalin, dem Eiſenſpath, Talkſpath und in's beſondre in dem auch in dieſer Beziehung ausgezeichneten Kalkſpathe. Im polariſirten Lichte zeigen ſie Anomalien. Der Diamant, der als ein Kryſtall des teſſeralen Syſtemes keine doppelte Brechung haben ſollte, verhält ſich zuweilen wie ein einachſiger Kryſtall. Aehnliches würde man unſtreitig auch an den gebogenen Glimmer- und Gypsblättchen wahrnehmen.

§. 12. Dieſe Abweichung von der normalen Lage entſtand entweder erſt in dem vollendeten Kryſtall oder ſchon in der Zeit ſeiner Bildung. Jede Kraft, die auf den Kryſtall einwirkt, bringt eine Abänderung in den relativen Cohäſionskräften hervor und mit wenigen ſpeciellen Ausnahmen auch eine Krümmung. Dicke Kryſtalle verlangen zwar eine große Kraft, um ihre Lage merklich zu verändern, eine Kraft, die gewöhnlich hinreichen würde, ſie zu zerbrechen; aber langſäulige, faſrige oder blättrige Kryſtalle ſind meiſtens ſtark gebogen.

Solche einen ſchon vollendeten Kryſtall biegenden Kräfte ſind:

1. Künſtlicher Druck, indem ein Kryſtallblatt oder eine Faſer um einen runden Körper gelegt und ſo befeſtiget wird.

2. Die Schwere, durch welche jeder Kryſtall, der nicht mit allen ſeinen Theilen aufliegt, und beſonders dünne, lange Kryſtalle gekrümmt werden.

3. Die Temperatur. Ein Kryſtall lehnt ſich bei ſeiner Bildung an eine fremde Subſtanz. Durch Wärme dehnen beide ſich aus, und wenn ſie nicht eine völlig gleiche Ausdehnung haben, ſo müſſen ſie ſich krümmen, wie ein Paar zuſammengelöthete Gold- und Platinaſtreifen. Selbſt zwei homogene, aber in geneigter Stellung an einander gewachſene Kryſtalle werden ſich aus dieſem Grunde

biegen, wie in Freshel's Versuche die beiden Gypsblättchen (Krystallkunde §. 65). Bei dem sehr häufigen Vorkommen solcher Combinationen und der seit der Bildung der Krystalle oft sehr veränderten Temperatur müssen viele Krystalle, wenn sie spröde sind, zerbrechen, und wenn elastisch biegsam, abnorm geworden sein. Wo man diese Ursache mit Bestimmtheit voraussetzen darf, kann man die Biegung benutzen, um in Verbindung mit andren Indicien die bei der Bildung statt gefundene Temperatur zu schätzen.

In allen diesen Fällen kehrt der Krystall in seine normale Lage zurück, sobald die fremde Kraft entfernt, die Temperatur der Bildung wieder hergestellt ist.

§. 13. Bleibender als in dem vollendeten Krystall ist die Biegung da, wo sie schon während der Bildung entstanden war. Wenn ein Blättchen oder eine Faser sich durch irgend eine Ursache gekrümmt hat, so behält sie diese Krümmung bei, wenn sie in der Lösung fortwächst und zu einer dicken Platte oder einer Säule wird. Die Ursachen sind hier:

1. Die Schwere oder eine andre der in dem vorhergehenden §. genannten Kräfte.

2. Die Isomorphie, wenn die Substanz sich allmälig in eine andere, von etwas abweichenden Winkeln verwandelt. Denn es ist unmöglich, daß ein Kalkspath-Krystall in einen um 2^0 stumpferen Eisenspathkrystall übergehe, ohne sich auch in den Winkeln allmälig zu verändern, was hier unfehlbar eine Krümmung herbeiführen wird.

Man hat dieser Verbildung bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt, und oft mit den äußerlichen, wo bloß die Oberfläche abgeändert, die Structur aber unangetastet geblieben ist, oder mit denen, wo der Krystall wie ein Gypsblättchen durch Spalten oder wie ein geschmeidiger Körper gebogen ist, verwechselt. Diese müssen streng von den Abnormitäten unterschieden werden, wo der Krystall im Innern eben so stetig ist, wie ein dünnes Glimmerblättchen, das man für den Augenblick in der Hand gebogen hat. Man hat die ganz auffallenden Abweichungen nur beiläufig als Monstrositäten erwähnt und diejenigen Krystalle, welche dem Auge nichts auffallendes darbieten, aber dennoch nicht zur Messung taugten, nicht weiter berücksichtigt. Die Beispiele der Abnormität in Krystallen sind daher noch wenig zahlreich. Man weiß nicht, welche Flächen concav, welche convex werden, und ob hierbei eine Beziehung zur Cohäsion

ſtatt findet. Man wird vielleicht an dieſen pathologiſchen Erſcheinungen der Kryſtalle die Geſetze des normalen Zuſtandes ſtudiren können.

c. Abnormität amorpher Körper.

§. 14. Genauer als bei den Kryſtallen, deren Geſtalten wir nicht in unſerer Gewalt haben, und wo die regelmäßigen Unterſchiede der Structur die kleinern Anomalien verbergen, kann man die Erſcheinungen der Abnormität am Glaſe und andern erſtarrten Gallerten beobachten. Das gewöhnliche Glas, das langſam gekühlt, jedoch von der kryſtalliniſchen Bildung, welche allzu langſames Abkühlen hervorbringt, frei iſt, erſcheint gegen alle, §. 6 angeführten Reagentien, wie ein normaler, ſtetiger Körper, der ſich von den Kryſtallen dadurch unterſcheidet, daß die Cohäſionskräfte eines Punctes nach allen Richtungen gleich ſind, in einer Kugel alſo ſich alle Durchmeſſer vollkommen gleich verhalten. Jede Abweichung von der Gleichförmigkeit kann durch die Modificationen, die ſie in dem polariſirten Lichte hervorbringt, leicht beobachtet werden.

Die Farben, welche eine gekrümmte oder transverſal ſchwingende Glasplatte in einem auf die gewöhnliche Weiſe eingerichteten Polariſationsapparate zeigt, ſind denen, die durch Kryſtallblättchen entſtehen, ſehr ähnlich und combiniren ſich mit ihnen, wie die Farben mehrerer Kryſtallblättchen unter einander. Aehnliche Farben entſtehen, wenn ein Glasſtück durch zwei Schrauben comprimirt iſt, und die Wirkung einer der Richtung des Druckes parallelen Linie im Glaſe iſt derjenigen, welche eine darauf ſenkrechte und alſo dilatirte Linie hervorbringt, entgegengeſetzt.

Daſſelbe beobachtet man, wenn man ein kaltes Glas mit dem Rande auf ein heißes Metall oder ein heißes Glas auf ein kaltes Metall bringt, ſo lange die ungleichförmige Temperatur auch die Structur etwas ändert. Aber dieſe Veränderungen ſind vorübergehend und verſchwinden, wenn der Druck aufhört, oder die Temperatur ſich ausgeglichen hat.

§. 15. In einem ſchnell gekühlten Glasſtücke ſind die Structur-Veränderungen bleibend. Die verſchiedenen Theile wirken ungleichförmig auf das Licht, in einigen Theilen einem negativ polariſirenden, in andren einem poſitiv polariſirenden Kryſtalle gleich; zwiſchen beiden ſind indifferente Zonen.

Wie Glas, nur zuweilen in noch höherem Grade verhalten sich andere aus einer Gallert erstarrte Körper, Harz, Gummi, Kautschuk. Ferner Opal, Vesuvian. Die Unterschiede der Structur, die hier von der Bereitung herrühren, werden auch durch Lebensprocesse hervorgebracht. Sie finden sich in allen organischen Membranen und Fasern. Nach Brewster's Untersuchung wird das Licht polarisirt von Haut, Blase jeder Art, Nägeln, Pergament, Elfenbein, Knochen, Federn, Seide, Wolle, Baumwolle, sehr stark von Menschenhaar und den Krystallinsen aller Thiere, Unter den Krystallen verhalten sich die achsenlosen, Diamant, Kochsalz und andre, dem tesseralen Systeme angehörige, wie Glas. Bei den doppelbrechenden Krystallen, wie Kalkspath, Beryl, konnte Brewster zwar durch Druck keine deutliche Polarisation hervorbringen, aber wahrscheinlich nur, weil die weit stärkere, den Körpern eigenthümliche Kraft die schwächere der künstlichen Structur-Veränderungen verdeckte.

§. 16. Nachdem Malus die Polarisation durch die Spiegelung unbelegter Glasplatten entdeckt hatte und man häufig Glas und Kalkspath zusammenbrachte, konnte die polarisirende Wirkung vieler Glasstücke nicht lange mehr verborgen bleiben; auch wurde sie schon im Jahr 1811 von Arago Mém. de l'Acad. 1811. p. 100 wahrgenommen.

Genauer beobachtete Seebeck die Polarisation an Glas von verschiedenen Gestalten (Schweigg. Journ. VII. p. 259 und 382), erkannte aber erst 1814 (Schweigg. Journ. XII. p. 1) den Zusammenhang der Polarisation und der schnellen Abkühlung, Einige Zusätze zu seinen frühern Arbeiten stehen Schweigg. Journ. 1816. XVIII. p. 2

Weit vollständiger und genauer sind die von Brewster fast gleichzeitig angestellten Versuche, da er sowohl die durch Biegung, Druck oder partielle Erwärmung, als die durch schnelle Kühlung bleibend entstehenden Farben, so weit es die damals bekannten Polarisationsgesetze zuließen, auf quantitativ genaue Gesetze reducirte.

Ueber vorübergehende Polarisation:

Treatise on New philosophical Instruments. p. 329.

Philos. Transact. 1813 p. 101; 1814 p. 187; 1815 p. 29; p. 60; 1816 p. 156, die Hauptarbeit; p. 311; 1819 p. 44, die theoretischen Resultate aus älteren Beobachtungen.

Ueber bleibende Polarisation:

Philos. Transact. 1814 p. 416; 1815 p. 1; 1816 p. 463, die Hauptarbeit; 1818 p. 259.

Edinb. Transact. 1816 VIII. p. 355.

§. 17. Wenige Beobachtungen von Biot und Savart über die Polarisation des Lichts durch schwingende Glasplatten ausgenommen (Mém. de l'Acad. Hist 189. IV.; Gilb. Annal. LXV. p. 26), liegt die Untersuchung seitdem beinahe ganz brach, was sehr zu bedauern ist. Denn die Arbeiten Brewster's stammen aus einer Zeit, wo man über das Wesen der Lichtpolarisation sehr unrichtige Ansichten hatte. Jetzt wiederholt, und mit dem, was man über die Dichtigkeits-Veränderungen in comprimirten oder schwingenden Körpern weiß, combinirt, würden sie uns über viele Puncte in der Lehre von der Elasticität Aufschluß geben.

Seebeck und Brewster begingen über dieses den Fehler, das schnell gekühlte Glas, weil es den Krystallblättchen ähnliche Erscheinungen zeigte, für krystallisirt zu halten. Jenes Glas ist vielmehr, wie auch sein Ursprung zeigt, von einer regelmäßigen Structur weiter entfernt als gewöhnliches Glas, denn auch hier ist es die schnelle Abkühlung, welche die wahre Krystallisation verhindert. Bei den Krystallen sowohl als dem gekühlten Glase ist es zwar die Verschiedenheit der Cohäsionskräfte in verschiedenen Richtungen, welche die Polarisation hervorrufen, aber dieses geschieht auf sehr verschiedenartige Weise. In dem Krystall ist das Charakteristische, daß ein jeder Theil sich im Gleichgewichte befindet und dem andern gleich ist. Alle Stellen im Krystall, sie seien in der Mitte oder am Ende, wirken daher auf gleiche Weise. Die Polarisation hängt nur von der Richtung des Strales ab, aber gar nicht von dem Orte in Beziehung auf die Grenzen des Körpers. So ist es nicht im Glase. Die Theile sind nicht im Gleichgewicht, und ihre Lage verändert sich, wenn man das Glasstück durchbricht. Verschiedene Stellen wirken daher auf ungleichförmige Weise und die Polarisation ist von der Gestalt des Glases abhängig. Ein schwacher Sprung, der die Continuität des Glases aufhebt, ändert auch die Farben ab.

§. 18. Die Abnormität macht diese amorphen Körper auch spröder. Sprödе ist eine Substanz, die keiner bleibenden Aenderung fähig ist, ohne zu zerbrechen. Bei Biegung und Drehung beschränkt sich die Wirkung gewöhnlich auf die unmittelbar erschütterte Stelle und nur bei starkem Drucke oder Stoß, die überhaupt nur

mittelbar ein Zerreißen hervorbringen können, pflanzt sich die Wirkung auf entfernte Theile fort. Bei abnormen Körpern aber, welche, wenn die Abnormität einen hohen Grad erreichen soll, immer auch spröde sein müssen, tritt zu dieser äußern Wirkung des Zerbrechens noch eine innere Ursache, wodurch die Wirkung selbst weit über den ursprünglich gespannten Ort hinausgeht und oft der Ursache gar nicht angemessen zu sein scheint. Der Körper bestehe aus einem dicken und einem dünnen Theile. Die Kraft, die nöthig ist, beide zu zerbrechen, ist von ihrem Durchmesser und ihrer Länge abhängig; aber die Wirkung ist in beiden Fällen oft dieselbe, nämlich eine Zertrümmerung des Ganzen, ein Beweis, daß sie nicht eine unmittelbare Folge der angewendeten Kraft ist, sondern daß diese bloß deßhalb eine so große Wirkung hervorbringt, weil innere Kräfte dadurch angeregt werden. Wie z. B. ein aus prismatischen Steinen ohne Mörtel gebauetes Gewölbe, einer von oben wirkenden Kraft einen großen Widerstand entgegenstellt, bei einer von unten wirkenden aber fast bloß das Gewicht eines einzigen Steines überwunden zu werden braucht, um das Gewölbe zum Einsturze zu bringen. Dieses Gleichniß giebt ein ziemlich treues Bild von der Anordnung der Theile in den sehr abnormen Körpern. Man muß daher in der Sprödigkeit zwei Momente unterscheiden, die Wirkung, welche die äußeren Kräfte unmitelbar hervorbringen, und die auch in stetig struirten Körpern statt findet, und die innern Kräfte, welche rege werden, indem an einem Orte der Zusammenhang der Theile unterbrochen ist. Ich will die zweite Ursache abnorme Sprödigkeit nennen.

Alle Glasſorten, welche die oben beschriebene Einwirkung auf's Licht haben, sind abnorm spröde und brechen bei sehr geringen äußern Kräften. Am ausgezeichnetsten sind in dieser Beziehung die Springgläser.

Springgläser.

§. 19. Man hatte in den deutschen Glashütten die große Sprödigkeit von Glas, das glühend in kaltes Wasser geworfen war, seit langer Zeit gekannt, ohne darauf zu achten, bis man in der Mitte des 17ten Jahrhunderts in den Niederlanden darauf aufmerksam wurde und es wissenschaftlich untersuchte. In dem 1671 erschienenen Werke Montanari's Speculat. fisiche sind alle mit ihrer Bildung und ihrem Zerbrechen verbundenen Umstände so voll-

ständig behandelt, daß man ihnen spärhin nichts bedeutendes hat hinzufügen können.

§. 20. Die Glastropfen entstehen, wenn man einen an einem Stabe hängenden Tropfen flüssigen Glases in Wasser oder eine andre Flüssigkeit bringt. Der Tropfen erstarret und endigt sich in einem dünnen Schweife. Die Tropfen, welche nicht gleich im Wasser zerbrechen, sind an ihrem Kopfe sehr fest. Man kann damit Nägel in starkes Holz schlagen, ohne daß er leidet; man kann ihn sogar zum Theil abschleifen, ohne daß der Zustand des übrigen Theils verändert wird. Bricht man aber ein Stück von dem Schweife ab, so zerfällt das Ganze in Staub. Dieser Proceß ist in luftleerem wie in luftvollem Raume; im Wasser wie in der Luft; nur wird das Wasser zuweilen stark erschüttert, und das Gefäß zerbrochen. Man hat den Kopf oder den Schweif in Leder, Leim, selbst in Gyps gebracht, so daß die Theile nicht auseinander fallen konnten; aber die Erscheinung blieb unverändert; war der Schweif gebrochen, so zerfiel die Masse in Staub, sobald das Hinderniß entfernt war. Man kann aber auf diese Weise den Gang des Zerbrechens deutlicher als in einem freien Raume beobachten. Der Tropfen zerfällt nämlich zunächst in konische Schalen, deren Scheitel dem Schweife zugekehrt sind, und erst dann in Staub. Wird der Kopf so stark abgeschliffen, daß der Tropfen springt, so ist die Convexität dem Körper zugekehrt. Man kann auch bloße Glasfäden, sogenannte Glaswürmer, die wol einen Meter lang sind, dnrch schnelles Kühlen so spröde machen, daß sie, an einem Puncte gebrochen, ganz in Staub zerfallen. Bei ihnen zeigt sich dann ebenfalls die Trennung in trichterförmigen Schalen, deren Convexität immer nach der Seite hin liegt, wo das Zerbrechen statt findet. Diese Spaltung ist also kein Educt, sondern ein Product des Brechens.

Der Act des Zerbrechens ist in diesem Glase wie in erkalteten Harzschichten, die ebenfalls durch Abkühlung abnorm spröde geworden sind. Steckt man einen spitzen Körper hinein, oder zieht man einen in die noch weiche Masse gesteckten heraus, so bilden sich viele Sprünge, die theils Radien-artig aus dem verletzten Puncte ausgehn; theils sich so verästeln, daß die Wurzel des Stammes auf ihn hinweist. Was man hier in der Fläche sieht, findet bei dem Tropfen im Raume statt.

Die Fragmente des Springtropfens sind zwar eckig, aber sie sind lange nicht so scharfkantig, als andre Glassplitter. Man kann den Tropfen in der Hand zerbrechen, ohne sich zu verletzen.

§. 21. Die Oberfläche der Tropfen scheint rauher zu sein als langsam gekühltes Glas zu sein pflegt; aber doch noch immer spiegelnd. Im Innern, besonders bei Flint- und Bouteillenglas, finden sich gewöhnlich mehrere Höhlungen; sie sind jedoch nicht wesentlich und fehlen zuweilen in den reinern Glasarten. Wo sie sich finden, haben sie jedoch einigen Einfluß auf die Structur. Beim Abschleifen des Kopfes springt der Tropfen gewöhnlich, sobald man eine Höhlung erreicht, und im polarisirten Lichte zeigen sich Streifen, die theils der äußeren Oberfläche parallel gehen, theils aber auch nach den Höhlungen convergiren. Diese Streifen rühren zwar nicht von Sprüngen her, deuten aber auf eine Ungleichförmigkeit in der Structur, die beinahe symmetrisch gegen die äußere zuerst erkaltete Oberfläche sein muß.

Es ist einleuchtend, daß die einzelnen Glastheile ihre Ruhe im Tropfen nur ihrer Verbindung mit benachbarten Theilen verdanken, und wenn diese aufgehoben ist, ihr Gleichgewicht verlieren. Es lassen sich mehrere Anordnungen der Theile denken, welche mit den Erscheinungen beim Zerbrechen im Einklange sind. Aber die optischen Beobachtungen, das einzige Mittel, welches über das Gefüge im ungebrochenen Tropfen Aufschluß geben könnte, ist zu einer quantitativ genauen Bestimmung noch nicht geeignet.

§. 22. Durch eine Temperatur, die den Siedepunct des Wassers überschreitet, aber die Glühhitze nicht zu erreichen braucht, und eine hinlänglich lange Zeit wirkt, kann man das Glas der Tropfen in gewöhnliches Glas verwandeln; partielles Zerbrechen führt nicht mehr das Zerbrechen des Ganzen herbei und in dem Polarisationsapparate verschwinden die Farben. Das specifische Gewicht erleidet dabei keine Veränderung, aber es scheint, daß die Höhlungen sich zusammenziehen und das Volumen des ganzen Tropfens daher etwas abnimmt. Ist in den Glaswürmern eine Stelle erhitzt, so pflanzt sich die Zermalmung nur bis zu ihr hin fort und wenn im Glastropfen der Kopf zuweilen ganz abgefeilt werden konnte, ohne daß das Ganze zerbrach, so rührt dieses ebenfalls nur von einer Enthärtung desselben durch die starke

beim Reiben entwickelte Hitze her. Je niedriger daher die Temperatur des in das Waſſer fallenden Tropfens war, deſto weniger ausgezeichnet iſt zwar die Erſcheinung, deſto größer ſind beim Zerſpringen die Fragmente, aber deſto leichter wird der Tropfen auch bereitet, indem er nicht ſo leicht gleich beim Entſtehen im Waſſer zerſpringt. Eben ſo, wenn der Tropfen in warmes Waſſer oder in geſchmolzenes Wachs fällt.

§. 23. In den bologneſer Flaſchen, d. h. kleinen, ſchnell gekühlten Fläſchchen mit dickem Boden, bringt die Spannung der Theile eine ähnliche Wirkung hervor. An der äußern Oberfläche des Bodens können ſie wie der Kopf eines Springtropfens ohne Nachtheil geſtoßen, geritzt werden. Auch auf der innern Fläche widerſtehen ſie einem ſtarken Stoße, z. B. einer einen Meter hoch herabfallenden Bleikugel, aber bei dem kleinſten Ritze mit einem Flintenſteine ſpringt der Boden entzwei. Harte Körper wie Diamant und Saphir ſoll zuweilen durch den Zoll dicken Boden wie durch ein Spinngewebe fallen. Die bologneſer Flaſchen ſind noch nicht in dem Lichtpolariſationsapparate unterſucht.

Wie die Tropfen und Flaſchen erhalten ſich viele andre Glasarten. Aus demſelben Grunde wie die Flaſchen zerbrechen Barometerröhren zuweilen ſehr leicht, wenn man einen Eiſendraht in das Innere bringt; ferner Gummi, Harz, geſchmolzener Salpeter, chromſaures Kali und andre Salze, Schwefel, insbeſondre Stahl, wenn er glashart iſt, wo bei ſchwachen äußern Kräften, die das Gleichgewicht der Theile an einigen gewiſſen Puncten aufheben, das Ganze zerbricht. Unter den von der Natur ſelbſt bereiteten Körpern ſind die Beiſpiele von dieſem geſpannten Zuſtande ſeltner, weil ſie gewöhnlich mit großen, ſich nur langſam abkühlenden Maſſen arbeitet. Aber auch Marekanit zerfällt nach Erman's Beobachtungen, wie ein Glastropfen, in Staub.

§. 24. Die Hauptarbeit über die Glastropfen und Glaswürmer ſteht in den Speculat. ſisiche von Montanari. 1671. Gleich der Abhandlung über die Cohärenz der Flüſſigen eine in jeder Beziehung vortreffliche Arbeit.

Fr. Redi in Montanari's Werke p. 42, ebenfalls gute Beobachtungen.

Neri De Arte vitraria. 1669. in Fiſcher's Wörterbuche. I. p. 288.

Brewster Phil. Transact. 1815. p. 6.

Außerdem einige ältere Beobachtungen, die auch in Montanari's Werke stehen, und viele spätere, die, einige Speculationen ausgenommen, welche meistentheils falsch sind, nichts neues enthalten, und die ich deßhalb nicht citiren mag.

Comm. Inst. Bonon. II. p. 321. Ueber bologneser Flaschen.

Allamand Phil. Transact. 1745. p. 505. Ebenfalls.

und andre Arbeiten von geringem Belange.

d. Kryſtallaggregate.

§. 25. Von dem Kryſtallhaufen muß man die Aggregate wohl unterſcheiden. Bei jenen liegen die einzelnen Individuen bloß neben einander, bei dieſen ſind ſie durch Cohäſionskräfte zu einem Ganzen verbunden.

In den Aggregaten ſind die Kryſtalle bald beinahe von gleicher Größe und nach dem Geſetze der Zwillinge oder unregelmäßig an einander gewachſen, bald, und dieſes iſt, nach großen Kryſtalldruſen zu ſchließen, gewöhnlicher, ſind die Kryſtalle durch kleinere, welche die Rolle eines Mörtels ſpielen und entweder von gleicher oder verſchiedener chemiſcher Beſchaffenheit ſind, mit einander verbunden. Eine als Ganzes erſtarrende Maſſe verwandelt ſich niemals in einen Kryſtallhaufen, ſondern wenn ſie nicht zu einem Kryſtall wird, immer in ein Aggregat. Daß eine geſchmolzene Maſſe keine Spur von einer Aggregation zeigt und dennoch gewöhnlich aus einem Aggregate beſteht, erkennt man theils durch ſchwache Auflöſungsmittel, welche in die Zwiſchenräume dringen und die Umriſſe der großen Kryſtalle bloß legen, theils durch den Act des Schmelzens ſelbſt. Durchſticht man die erſtarrte Rinde eines geſchmolzenen Körpers und gießt den noch flüſſigen Theil ab, ſo iſt die Rückſeite derſelben mit Kryſtallſpitzen beſetzt. Auf die erſte Weiſe kann man die Textur von Eiſen, Zinn und Steinen und auf die zweite die von andern Metallen, Blei, Zink, Wismuth u. ſ. w., Schwefel erkennen.

Aus der Auflöſung und Sublimation bilden ſich anfangs nur unverbundene Kryſtallhaufen, die aber ſpäterhin verbunden werden, theils durch kleine Kryſtalle, die ſich anlegen, theils durch partielles Auflöſen und Präcipitiren, wodurch faſt alle Salzhaufen, wenn ſie nicht allzu unlöslich ſind, ſich zu einem Ganzen vereinigen.

§. 26. So unregelmäßig in dieſer Maſſe die Individuen liegen, wenn wir ſie einzeln betrachten, ſo zeigt ſie doch zuweilen eine gewiſſe Regelmäßigkeit in ihrer Structur. Wenn man ſie in der Form von Platten ſchwingen läßt, ſo haben ſie in den Tönen ein Maximum und ein Minimum, die um die Quinte verſchieden ſein können, was auf eine Verſchiedenheit in der Elaſticität deutet, die über 1 : 2 beträgt (Savart Ann. Ch. Phys. 1829. XLI. p. 61.). Dem polariſirten Lichte ausgeſetzt, zeigen ſie eine Annäherung an die Eigenſchaften der ein- und zweiachſigen Kryſtalle; und ſelbſt durch Zerbrechen finden ſich Spuren alle Individuen durchſchneidender Durchgänge (Siehe Kryſtallkunde §. 112.). Die Urſache liegt erſtlich in der Größe der einzelnen Kryſtalle und ihrer Anzahl, wodurch die nach verſchiedenen Seiten wirkenden Kräfte nicht gänzlich neutraliſirt werden, ſondern nach einer gewiſſen Richtung Maxima und Minima haben. Je kleiner die einzelnen Individuen ſind, deſto mehr geht jede Spur des Gefüges verloren, und wenn die einzelnen Theile mikroſkopiſch werden, was beſonders bei mechaniſchen Verbindungen der Fall iſt, ſo iſt die aus dieſer Urſache hervorgehende Wirkung ganz verſchwunden. Zweitens in der regelmäßigen Lagerung der Theile. In einer dünnen Kochſalzplatte, die dem Boden des Gefäßes, in dem das Salz kryſtalliſirte, parallel iſt, iſt in allen Individuen eine Würfelfläche der Tafel parallel. Eben ſo iſt's bei dem Salpeter, dem Glauberſalz und den meiſten übrigen Salzen; ſehr deutlich beim Eiſe, das ſich auf der Oberfläche von Waſſer bildet, wo die Hauptachſe des Eiskryſtalles ſtets ſenkrecht auf die Waſſerfläche iſt. Am ſtärkſten ſind die Wirkungen einer unregelmäßigen Lagerung bei faſrigen und blättrigen Subſtanzen, wo die Individuen, wenn ſie auch nicht ganz parallel ſtehen, doch faſt immer eine Richtung gemeinſchaftlich haben. Man iſt durch ſolche Beobachtungen zuweilen verleitet worden, ein Kryſtall-Aggregat für einen einfachen Kryſtall zu halten.

§. 27. Es iſt eine nicht ſelten aufgeſtellte Hypotheſe, daß ſämmtliche Naturkörper nach ihrer Geſtaltung in drei Klaſſen getheilt werden können.

1) Wo alle Dimenſionen einander gleich ſind.
2) Wo eine Dimenſion kürzer iſt.
3) Wo eine Dimenſion vorherrſcht.

und man gründete darauf verſchiedene naturphiloſophiſche Specula-

tionen. Allein diese werden durch die Beobachtungen gänzlich widerlegt. Daß zwischen den Krystallfamilien und der chemischen Zusammensetzung keine Verbindung in dem Sinne statt findet, wie man meinte, geht aus jedem mineralogischen Systeme hervor. Körper mit einem oder mit zwei Hauptdurchgängen kommen in jeder chemischen Klasse vor. Aber auch die Aggregirung der Krystalle hängt von Umständen ab, bei denen die chemische Zusammensetzung nur eine untergeordnete Rolle spielt. Ich will dieses durch einige Beispiele erweisen.

§. 28. Der Kohlenstoff gehört als Diamant der ersten, als Graphit der zweiten Abtheilung an. Leitet man einen Strom Kohlenwasserstoff oder Alkohol über glühendes Eisen, so wird dieses zu Stahl, und wenn das Gas im Ueberschuß ist, so setzt sich die Kohle in allen Formen ab: bald als festes Pulver; bald im schwammigen Massen; bald in groben Körnern, die isolirt oder zu traubenförmigen Knollen vereinigt sind, von dem Wasser nicht geritzt werden können und muschligen Bruch nnd Metallglanz haben; bald in schuppigen oder schiefrigen Massen; bald in Fasern von der Dicke des feinsten Spinnfadens an bis zur Dicke eines Menschenhaares, zuweilen ganz mit der Textur der Wolle, zuweilen ganz mit der des Asbestes.

Aehnliche Producte entstehen in Hochöfen, in Gasbeleuchtungsapparaten und in mehreren Processen der kleinen chemischen Laboratorien, z. B. die Nadeln, die sich bei dem Glühen von kohlensaurem Kali bilden, die Blumenkohl-artigen Auswüchse bei den Dochten und bei galvanischen Processen, die einigen Salzvegetationen vollkommen gleichen, die traubigen Massen in den Rauchfängen der Oefen u. a. m.

Colquhoun Ann. of Philos. N. S. 1826. XII. p. 1.

Boston Sillim. Journ. 1831. XX. p. 167.

Marx Schweigg. Journ. 1826. XLVII. p. 321.

Herapath Phil. Mag. 1823. Juni, p. 433.

§. 29. Die Kieselerde ist als Quarz eine krystallisirte Masse, als Opal ein Glas, eine erstarrte Gallerte, und Opal und Quarz sind im Chalcedon und Feuerstein in jedem Verhältnisse gemengt (Fuchs u. a.). Im Tabaschir ist's eine poröse Masse, zuweilen mit so kleinen Poren, daß sie durchsichtig wird (Brewster). Eine ihm ähnliche Substanz entsteht, wenn Chlor über ein glühen-

des Gemenge von Kohle oder Eiſen und Silicium ſtreicht (Oerſted, Gayluſſac, Liebig). In Eiſenhütten findet ſich die Kieſelerde bald in feſten Faſern, bald in compacten Maſſen von jeder Geſtalt gruppirt (Vauquelin, Karſten, Koch). Den Quarz ſelbſt ſah Brewſter ſo fein zertheilt, daß er ganz ſchwarz war, und ſeine Durchſichtigkeit erſt wieder erhielt, als man ihn in ein Oel von gleicher Bechung tauchte.

Andre kieſlige Subſtanzen kommen ebenfalls in jeder Geſtalt vor. Selbſt die ſonſt ſo compacte Lava wird bloß durch heftige Winde, welche durch die Eruption ſelbſt entſtehen, in äußerſt feine Faſern verwandelt. (Beſchreibung einer Reiſe nach den Vulcanen von Oweihi).

§. 30. Auch die Salze nehmen jede Textur an. Dieſelbe Species entſteht bald als große Kryſtalle, bald als Aggregate von Faſern und Blättern, bald als ſehr zarte Dendriten. Z. B. Alaun, Kochſalz, Bitterſalz.

Eben ſo findet ſich Kalkſpath mit jeder in der Natur vorkommenden Textur.

§. 31. Von den Metallen kommen einige faſt immer mit deutlichen Spuren von Kryſtallbildungen vor. Andre, beſonders die geſchmeidigen, die zuweilen ebenfalls deutlich kryſtalliniſch ſind, wie in hoher Temperatur reducirtes Gold ſich in Schuppen formt, ſind oft ohne Spur einer Kryſtalliſation, obgleich man nicht an Dimorphie denken kann. Sie bilden ſich auf naſſem Wege, bald als feines Pulver, bald als Tafeln, die von einer ſo geringen Dicke, daß die Metalle durchſichtig ſind, hinaufſteigt bis zu der Dicke deutlicher Bleche; bald als dicke Knollen. Als dünne Faſern kommen in der natürlichen Fundorten vor oder werden durch Kunſt erzeugt: Zinn, Kupfer, edle Metalle (Clement, Berthier, Wagner, Plümicke).

§. 32. Bearbeitete Metalle ſind, wie man an der Wirkung ſchwacher Auflöſungsmittel ſieht, gewöhnlich Aggregate von Kryſtallen, die aber oft ſehr abnorm geworden ſind. Man betrachte nur die Eis- oder Salzbildung aus überſchmolzenen Waſſer- oder Salzlöſungen (Kryſtallkunde §. 123). Von dem Anſchießungspuncte gehen lange Faſern aus, die ſich ſchon durch ihre eigene Schwere krümmen, und in dieſer abnormen Lage durch ſpäter angewachſenes Salz feſtgehalten werden. Daſſelbe muß bei dem Metalle ſtatt finden, wobei die Abnormität durch den großen Unterſchied zwiſchen dem Schmelz-

puncte und der gewöhnlichen Temperatur und vor allem durch die Bearbeitung beträchtlich erhöht werden muß. Diese nimmt man auch auf verschiedene Weise wahr. Ein Draht wird durch Hämmern oder durch schwache Auflösungsmittel sehr zerfasert. Ein gewalztes Blech wird durch dieselben Mittel in dünne Lamellen getheilt. Wird Schwefel um eine Kupfer-, Silber- oder Goldmünze angezündet, so spaltet sich das Metall in parallele Blätter (Rollet), was wahrscheinlich nicht sowohl von Absonderungsflächen herrührt, als vielmehr von einer geringern Größe der Cohärenz in der Richtung, welche dem bei der Bearbeitung wirkenden Drucke parallel ist. Stahl, welcher schnell abgekühlt wird, wird convexer und abnormer; dieses wiederholt sich bei jeder neuen Härtung und endlich bricht der Stahl.

§. 33. Sehr oft besteht das Aggregat aus heterogenen Stoffen, wobei die Individuen der Hauptmasse des Körpers durch einen oft in sehr geringer Quantität vorhandenen und als Mörtel dienenden, heterogenen Stoff verbunden werden. Trotz ihrer geringen Quantität haben diese Stoffe einen sehr starken Einfluß auf die Cohärenzerscheinungen, indem durch sie *erstlich* die Größe der einzelnen Individuen sehr vermindert wird, das Ganze sich also von einer regelmäßigen Structur noch weiter entfernt, als wenn die fremden Stoffe fehlten; *zweitens* indem beim Zerbrechen die Theile sich nicht bloß durch die Hauptmasse selbst von einander trennen können, sondern auch in dem Mörtel oder in der Berührungsfläche zwischen Mörtel und Hauptmasse. Von den künstlichen Körpern gehört eine Menge von harzigen und andren Substanzen organischen Ursprungs hierher, ferner Stahl und viele Metalle und Metallegirungen (Karsten, Faraday und Stodart, M. Meyer). Unsre Erdrinde besteht mit wenigen Ausnahmen aus solchen Gemengen von zwei oder mehreren Stoffen in jedem Verhältnisse der relativen Quantität. Der rothe Sandstein z. B. ist ein Aggregat von Quarzkrystallen und selbst mikrospischen Quarzdrusen, die durch einen rothen Mörtel verbunden sind. Die Nagelfluhe besteht ebenfalls aus Quarzkrystallen, welche durch einen Kalkmörtel verbunden sind, der aus deutlichen Krystallen besteht. Leider hat man seit *Leeuwenhoek* (Philos. Transact. 1704 und 1705.) das Gefüge der Felsgesteine fast gar nicht unter dem Mikroskope untersucht und dadurch auf ein für die Geologie sehr wichtiges Hilfsmittel verzichtet.

Zu der Kenntniß des Gefüges der Gesteine im Großen haben Hausmann Ueber die Formen der leblosen Natur, und Macculloch Lond. J. of Sc. 1825. XVIII. p. 61. wichtige Beiträge geliefert.

e. Poröse Körper.

§. 34. Es ist eine alte mit der Atomistik innig verbundene Meinung, daß alle Körper porös seien. Sie ist richtig, wenn man die Zwischenräume zwischen den Molekeln, Poren, nennen will. Diese lassen jedoch keinen fremden Körper eintreten, ohne sich bedeutend zu erweitern. Solche Zwischenräume berücksichtige ich nicht, sondern nur solche, deren Weite sehr groß ist gegen die Größe der elementaren Theile und ihrer Zwischenräume. In diesem Sinne sind die Körper keinesweges alle porös, die flüssigen sind von Poren frei, und wo sie sich finden, sind sie zufällige Abänderungen in der Textur, die von einer Unterbrechung in der Bildung herrühren. Solche Poren finden sich in Krystallen, die sonst ein stetiges Ganze mit normaler Structur ausmachen, und in Aggregaten aller Art. In jenen sind sie oft; in diesen wahrscheinlich immer.

§. 35. Wie die Poren in sonst gleichförmig gebildeten Krystallen entstehen, kann man deutlich an Kochsalz, Salpeter und andren Salzen beobachten, die oft treppenförmig anschießen und mehr oder weniger große, gewöhnlich mit der Mutterlauge gefüllte Zwischenräume enthalten.

Diese Poren sind in neuerer Zeit genau untersucht worden, weil ihre Lage und ihre Gestalt oft sehr regelmäßig ist, und die Stoffe die sie luftdicht enthalten, über die bei der Bildnng der Krystalle statt gefundenen atmosphärischen und geologischen Verhältnisse Aufschluß versprechen.

Die Poren waren bald leer, oder schienen doch leer zu sein; bald waren sie mit einem Gase, bald mit einer Flüssigkeit gefüllt. Verdünntes Stickstoffgas im Quarz (H. Davy); verdichtetes Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas im Steinsalz (Dumas).

Wasser, das rein war oder Salze aufgelöst enthielt, in den Höhlungen des Bergkrystalls (Davy, Brewster); im Schwerspath, Flußspath, Salpeter, Steinsalz (Brewster, Nicol). Die Flüssigkeit

schien zuweilen sehr übersättigt zu sein, und erstarrte, sobald sie an die Luft kam.

Einen öligen Stoff fand man im Bergkrystall (Davy, Brewster); im Amethyst, Chysopras, Topas, Saphir, Schwerspath, Gyps, in mehreren Salzen (Brewster).

H. Davy Phil. Transact. 1822 p. 369; Pogg. Annal. VII. p. 469 XII. p. 469.

Brewster Edinb. Transact. 1824. X. p.1—43; Schweigg. Journ. 1826. XLVII. p. 231; Edinb. Phil. Journ. IX. p. 94, 288; XI. p. 155; Pogg. Annal. VII. p. 469.

Nicol Edinb. N. J. of Sc. V. p. 94; Pogg. Annal. 1828. XIII. p. 510; 1830. XVIII. p. 606.

Dumas Ann. Chim. Phys. 1830 XLIII. p. 316.

§. 36. Die Poren der Aggregate sind gewöhnlich der Luft zugänglich und enthalten daher selten eigenthümliche Stoffe. Aber sie werden interessant durch ihr Vermögen, Gase und Flüssigkeiten zu adsorbiren, und die Diffusion zu erzeugen (Siehe Elasticität der Gase §. 27 und Cohärenz der Flüssigen §. 250). Z. B. die Poren in Platinaschwamm, körnigem Marmor oder Dolomit, der Wedgwoodmasse und andren gebrannten Thonarten, in Zucker, Gyps, Steinkohlen. Das Volumen der Poren ist zuweilen sehr bedeutend. Bei dem gebrannten Gyps beträgt es etwa ½ des Ganzen, und dennoch ist keine Pore durch das Mikroskop sichtbar.

Zu den porösen Körpern gehören alle Producte der organischen Welt, welche die Function eines Organs versehen haben. In den lebenden Thieren oder Pflanzen bestehen sämmtliche active Theile, die Säfte sowohl als ihre Gefäße, in einem innigen Gemenge von Festen und Flüssigen. Nach dem Tode suchen zwar beide sich zu trennen, und man kann den flüssigen Bestandtheil durch verschiedene Mittel beinahe gänzlich vertreiben, aber die Stellen, die er eingenommen hat, bleiben als Poren zurück, deren Größen, wie die im Schiefer und Gyps, außer dem Bereiche unsrer Mikroskope liegen. Bei keinem einzigen dieser organischen Körper hat man eine Spur von Krystallisation finden können, dagegen gewöhnlich eine abnorme, die Polarisation des Lichtes hervorbringende Structur. Indessen ist man eben so wenig berechtigt, aus diesem Grunde, das Dasein von krystallinischer Bildung in den Körpern,

die früher einen Theil eines lebenden Organismus ausmachten, zu leugnen, als bei dem Gyps oder dem dichten Kalkſtein. Aus dem Organismus ausſchiedene Subſtanzen finden ſich dagegen ſehr häufig in deutlichen Kryſtallen vor; ſie mögen ganz aus dem Körper entfernt, oder in einer ſeiner Höhlungen abgelagert ſein. Die Gallen- und andre Steine bei den Thieren, eine Menge von feſten Subſtanzen, die in den Zellgeweben von Pflanzen und Thieren, ſelbſt in der Nervenſubſtanz abgelagert ſind, beſtehen aus deutlichen Kryſtallen. Ja vielleicht läßt ſich mit hinlänglich ſcharfen Mikroſkopen alles Feſte, welches in dem Organismus ſeine Bildung vollendet hat, als Kryſtall erkennen, indem die wahrſcheinlich ſehr langſame Bildung dieſer Stoffe das Kryſtalliniſche befördert. Die Hauptarbeiten ſind:

Ehrenberg Pogg. Annal. 1833. XXVIII. p. 465. Ueber die Bildung von Kryſtallen in thieriſchen Subſtanzen.

Turpin Ann. des Sciences naturell. 1832. XXV. p. 445. Ueber die Kryſtalle in Vegetabilien.

III. Kryſtalliſirbarkeit.

§. 37. Zwiſchen der Textur oder der Kryſtallform und der chemiſchen Beſchaffenheit findet alſo im Allgemeinen kein unmittelbarer Zuſammenhang ſtatt. Aber die Fähigkeit, ſich zu Kryſtallen zu formen, iſt bei verſchiedenen Stoffen ſehr ungleich, und hier haben, neben der Art der Entſtehung, die chemiſchen Beſtandtheile einen beträchtlichen Einfluß.

Man theilt alle Körper in kryſtalliniſche und unkryſtalliniſche, und pflegt zu den letzten alle diejenigen zu rechnen, bei denen eine Kryſtallform oder Durchgänge nicht ſichtbar ſind. Wir wollen den Begriff enger faſſen und nur diejenigen unkryſtalliniſch nennen, bei denen man durch keines der phyſiſchen Hilfsmittel, die uns zu Gebote ſtehen, eine Spur von Kryſtallbildung wahrnehmen kann.

§. 38. Es gehören zu den kryſtalliſirbaren faſt alle chemiſch unzerſetzten Subſtanzen. Die ſchmelzbaren Metalle können gewöhnlich leicht kryſtalliniſch gemacht werden. Eiſen, ſowohl wenn es ganz kohlenfrei iſt, als wenn es mit der Kohle die neue chemiſche Verbindung des Spiegeleiſens bildet, iſt ſehr kryſtalliniſch und nur die mechaniſchen Gemenge von Kohle und Eiſen, oder Kohleneiſen, der Stahl und einige Gußeiſenvarietäten zeigen keine kry-

stalliniſche Bildung, ſondern nur Aggregate von Körnern oder Faſern, die entweder durch die Bearbeitung abnorm gewordene, oder ſehr kleine Kryſtalle ſind. Eben ſo verhalten ſich andre Metalle und Legirungen. Schwefel und Jod ſind ſehr leicht kryſtalliſirbar. Auch Phosphor zeigt ſich, wo er ſich langſam bildet, in Kryſtallen, und wenn er, geſchmolzen, keine deutlichen Kryſtalle zeigt, ſo nimmt man ſie auch in kleinen Maſſen geſchmolzenen Schwefels nicht wahr, obgleich dieſer erweislich ein Aggregat von Kryſtallen iſt.

Die Metalloxyde ſind, wenn ſie nicht geſchmolzen ſind, meiſtens in Pulverform, die unſtreitig Haufen von Kryſtallen ſind, welche, wenn ſie, wie bei den galvaniſchen Verſuchen Becquerel's und andren ſehr langſam wirkenden chemiſchen Proceſſen, entſtehen, einen zur Beobachtung hinlänglichen Umfang erlangen.

Die Chlor-, Jod- und Brom-Verbindungen ſind meiſtens deutliche Kryſtalle. Von den Schwefel- und Phosphor-Verbindungen ſind die in der Natur vorkommenden gewöhnlich ſchön kryſtalliſirt, die künſtlichen ſind bald pulverförmige Aggregate, bald Gallerte. Aber ſie ſind auch ſelten rein und gewöhnlich ein Gemenge von mehreren Verbindungs-Stufen.

§. 39. Bei den Salzen iſt eine ſehr beſtimmte Beziehung zwiſchen der Kryſtalliſirbarkeit und der chemiſchen Zuſammenſetzung. Man kann die Säuren und die Baſen nach ihrer Kryſtalliſirbarkeit ordnen. Die Alkalien bilden nämlich beinahe mit jeder Säure kryſtalliniſche Salze; die Schwefelſäure, Salpeterſäure und einige andre Säuren beinahe mit jeder Baſe. Diejenigen Baſen oder Säuren, welche ſelbſt mit ihnen keine deutlichen Kryſtalle geben, werden den ſehr ſchlecht kryſtalliſirenden beizuzählen ſein. So findet ſich folgende Anordnung, die zwar nichts weniger als vollkommen genau iſt, jedoch als eine annähernde Ueberſicht hier ſtehen mag.

Gut kryſtalliniſch ſind die Verbindungen von: Salpeterſäure, Kleeſäure, Ameiſenſäure, Eſſigſäure, Bernſteinſäure, Citronenſäure, Schwefelſäure, Selenſäure. Minder gut ſind Salzſäure, Arſenikſäure, Phosphorſäure. Dagegen ſind ſehr wenig kryſtalliniſch die Salze von Boraxſäure, Flußſäure, Kieſelſäure, Vanadinſäure, Tellurſäure, Weinſäure, Aepfelſäure, die Chinaſäuren, die Quellſäuren, die Oel- und Talgſäuren, die Gallertſäure u. a. m.

Nach den Baſen geordnet, ſtehen die Salze der Alkalien und der organiſchen Alkaloide an der Spitze. Dann kommt Lithium. Minder häufig kryſtalliniſch ſind die Salze von Baryum, Strontium und Blei; noch weniger ſcheinen es Talk- und Kalkſalze zu ſein. In der Regel nicht kryſtalliſirt ſind aber die Verbindungen von Cerium, Yttrium, Glycium, Zinn, Titan, Alaun und Zirkon, Rhodium und Osmium. Die Salze der meiſten übrigen noch nicht genannten Metalle ſind meiſtens leicht kryſtalliſirbar, doch wie es ſcheint, Eiſen, Nickel und Kobalt in einem etwas geringern Grade, als Zink und Kupfer. Iſomorphe Körper ſtehen alſo auch in ihrer Kryſtalliſirbarkeit einander ziemlich nahe.

Hydrate kryſtalliſiren leichter als Alkoholate.

Oele, Zuckerarten kryſtalliſiren, wenn ſie ganz rein ſind, meiſtens gut. Butter, Wachs u. ſ. w. ſind Gemenge mehrerer Stoffe. Harz, Gummi, Kleber, Schleim und andre organiſche Producte kryſtalliſiren nicht leicht.

§. 40. Die von mir als unkryſtalliniſch bezeichneten Körper unterſcheiden ſich in dem ganzen Gange ihrer Bildung von den deutlich kryſtalliniſchen. Dieſe werden entweder zu einzelnen oder verbundenen Kryſtallen, oder zu Haufen von Pulver, die man ebenfalls für Kryſtalle zu halten berechtigt iſt, weil ſie ſich bei langſamer Bildung, ſobald man mit dem Mikroſkope ihre Geſtalt erkennen kann, als Kryſtalle zeigen, und nur ſelten iſt das Pulver zu einer dichten, ſcheinbar amorphen Maſſe verbunden. Die nicht kryſtalliniſchen dagegen ſenken ſich gar nicht als Pulver nieder, ſondern als eine ganz weiche Gallerte, oder als zarte Flocken, die ſich lange Zeit in der Auflöſung halten und dann einen voluminöſen Niederſchlag bilden, der gleich anfangs eine gewiſſe Conſiſtenz hat, die mit dem Entweichen flüſſiger Stoffe und mit der Zeit immer mehr zunimmt, und ſtatt des einer vollkommenen Flüſſigkeit nahen Zuſtandes, allmälig die Conſiſtenz von Seifenwaſſer, Honig, Butter annehmen, und entweder zu einer elaſtiſchen, weichen Maſſe, wie Gummi, Kautſchuck und ſelbſt Pfeifenthon, oder zu einer ſpröden Horn-ähnlichen Maſſe werden, die zuletzt in ein wahres mehr oder weniger hartes und ſprödes Glas übergehen, wo keine Spur eines kryſtalliniſchen Gefüges, weder durch die Polariſation des Lichtes, noch durch Zerbrechen, wahrgenommen werden kann. Ganz ähn-

liche Formen, aber gewöhnlich ohne diese Gradation in einer und derselben Substanz, stellen sich auch bei der Sublimation ein.

§. 41. Auch gegen die Wärme ist das Verhalten der eben beschriebenen Körper sehr verschieden von den krystallinischen. Wenn diese durch die zum Schmelzen nöthige Erwärmung keine Veränderungen in ihren Bestandtheile erfahren, so ist der Uebergang zwischen den festen und flüssigen Aggregatzuständen in der Regel so scharf als bei dem Eisen und den sich präcipitirenden Salzen. Von der Ueberschmelzung abgesehen, ist der Schmelzpunct constant. Die unkrystallinischen Körper dagegen haben bei ihrem Uebergange dieselbe Stufenfolge, welche ich so eben bei ihrem Niederschlage angegen habe. Das spröde Glas, wie der elastische Gummi, werden weicher, gemein biegsamer und sinken endlich durch das Gallertartige zum vollkommen Flüssigen hinab. Wenn daher einige unkrystallinische Körper nicht alle Stufen der Reihe durchlaufen, so rührt dieses wahrscheinlich von der niedrigen zu ihrer Schmelzung nöthigen Temperatur her, und man würde auch sie als Glas erlangen, wenn man über eine größere Kälte gebieten könnte. Auch bei vielen chemischen Processen, z. B. im Löthrohr, zeigt sich der Unterschied zwischen beiden Körperklassen. Die nicht krystallinischen Körper blähen sich oft lange, ehe sie schmelzen, zu einem voluminösen Schaume auf. Selten ist's, daß ein krystallinischer Körper sich eben so verhält; gewöhnlich zerfällt er in Pulver, wenn er vor seinem Schmelzpuncte zersetzt wird.

§. 42. Eine andre Eigenschaft, welche allen diesen unkrystallinischen Körpern zukommt, ist ihre Fähigkeit an einander zu haften, ihre starke Adhäsion, ihre Schweißbarkeit. So lange nämlich die Körper in ihrem Bildungsprocesse eine gewisse Grenze nicht überschritten haben, also bei Auflösungen, bei einem gewissen Grade von Trockenheit; bei der Bildung durch Wärme, oberhalb einer gewissen Temperatur, können zwei homogene Individuen mit einander durch bloßes Aneinanderlegen mit Hilfe eines Druckes verbunden werden. Dieser Druck kann um so kleiner werden, je weiter sich die Consistenz von der des Glases entfernt. Zwei Stücke Eis oder Salz vereinigen sich niemals zu einem Ganzen, wenn man sie nicht vorher schmilzt; 2 Stücke homogenes Glas, Gummi, Kautschuck u. s. w. lassen sich bei einer angemessenenen Abänderung der Tempe-

ratur ſo vereinigen, daß die Spur der frühern Begrenzung faſt verſchwindet.

§. 43. So bedeutend dieſe Unterſchiede zwiſchen kryſtalliniſchen und nicht kryſtalliniſchen Subſtanzen auch ſind, ſo werden ſie doch durch jede Zwiſchenſtufe vermittelt. Die Schweißbarkeit, eines der charakteriſtiſchen Kennzeichen der unkryſtalliniſchen Körper, vielleicht der eigentliche Grund der übrigen erwähnten Erſcheinungen, findet ſich auch bei Stoffen, die oft in deutlichen Kryſtallen vorkommen. Platinaſtaub, deſſen Theile ſo klein ſind, daß man ſie mit dem Mikroſkope nicht einzeln erkennt, wird bloß durch Druck zu einer dichten Maſſe; eben ſo verhalten ſich alle andren Metalle in mehr oder weniger hoher Temperatur, alle kryſtalliniſchen Oele, mehrere weiche Salze.

Bei geſchmeidigen Kryſtallen, die keine deutlichen Durchgänge haben, reicht bloßes Abſchleifen der Oberfläche ſchon hin, um jedes Merkmal der Kryſtalliſation zu zerſtören. Aggregate von Individuen, die ſich einzeln unſrer Beobachtung entziehen, oder Kryſtalltheile, wie z. B. Bleiiodurſchüppchen, die einzeln wohl kenntlich ſind, aber ſich unregelmäßig über einander häufen und an einander haften, bilden dem Anſcheine nach amorphe Maſſen. Indeſſen würden ſich dieſe Körper wahrſcheinlich immer noch durch ihr Verhalten in höherer Temperatur von den unkryſtalliniſchen unterſcheiden. Feine Gemenge von Kryſtallen mit einem heterogenen Stoffe verhalten ſich ihnen aber ganz gleich. Gehärteter Stahl, ein Gemenge von Eiſenkörnern und Kohleneiſen, iſt in allen ſeinen Eigenſchaften, die Polariſation ausgenommen, ein Glas. In höherer Temperatur erweicht er, und geht in den Zuſtand der vollſtändigen Flüſſigkeit allmälig über. Eben ſo verhalten ſich mehrere nicht chemiſche Metallegirungen, und wahrſcheinlich iſt es ein allgemeines Geſetz, daß in Gemiſchen, die aus einer großen Anzahl, fein vertheilter Individuen von verſchiedener Beſchaffenheit beſtehen, der Schmelzpunct nie plötzlich eintritt. Denn zuerſt wird der ſchmelzbarere Beſtandtheil flüſſig, im Stahl z. B. das Kohleneiſen, und nun werden die einzelnen Eiſentheile beweglich, und dieſe Beweglichkeit nimmt mit dem Fortſchreiten der Temperatur zu, indem immer größere Mengen Eiſens in die ſchon flüſſigen Beſtandtheile aufgelöſt werden, bis die ganze Maſſe flüſſig geworden iſt. Daß aber die Liquefaction eines Beſtandtheils das Zerfallen des Ganzen nicht

nothwendig zur Folge hat, zeigt die Consistenz der Amalgame, die großentheils aus festen Stoffen bestehen, der Thone, die, wenn sie recht fein sind, trotz des in ihren Zwischenräumen befindlichen flüssigen Wassers, sogar in gewöhnlicher Temperatur sehr consistent, oft elastisch biegsam sind, und andre Erscheinungen mehr.

Es ist also möglich, daß die scheinbar ganz unkrystallinischen Gläser dennoch Aggregate fein zertheilter Krystalle sind, die bald an einander geschweißt, bald durch heterogenen als Mörtel dienenden Stoff verbunden sind. Sind die Theile sehr fein, so ist die Durchsichtigkeit eben so wenig getrübt, als durch die Rauhigkeiten des polirten Glases und in allen übrigen Beziehungen verhalten sie sich abenfalls wie amorphe Körper. Mangel an krystallinischer Bildung ist also kein Beweis von Amorphie der kleinen Theile.

§. 44. Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß die meisten der für amorph gehaltenen Körper nur diesem Umstande die Abwesenheit eines krystallinischen Gefüges verdanken. Aus einer jeden der oben (§. 40.) bezeichneten Stufen geht oft ein scheinbar amorpher Körper in deutliche Krystalle über. Aus der Consistenz von Gummi oder Gallert, z. B. werden krystallinisch die Präcipitate von Kieselerden, essigsaures Glycium und Titan, Vanadinsaurer, phosphorsaurer, honigsteinsaurer, flußsaurer Kalk, boraxsaures Lithion, flußsaurer Titan; mehrere unterphosphorigsaure, äpfelsaure, honigsteinsaure Salze, Fluoboron-Kalium und -Baryum u. v. a. Daß es eine Amorphie in der Natur gebe, kann also nicht bewiesen werden, freilich kann man auch durch bloße Beobachtung nicht das Gegentheil erweisen, allein wenn man die sämmtlichen Eigenschaften der flüssigen und festen Körper, auch die in dem folgenden Abschnitte zu betrachtenden, berücksichtigt; wenn man ferner bedenkt, daß alle Eigenschaften, welche bei Körpern, die man als charakterisch amorphe anzusehen pflegt, auch zuweilen bei entschieden krystallinischen vorkommen und daß man die scheinbare Abweichung zwischen amorphen und krystallinischen vollkommen auf äußere Umstände zurückführen kann: so wird man es für sehr wahrscheinlich halten müssen, daß alle feste Körper in ihren kleinen Bestandtheilen, welche jedoch noch sehr viele Atome enthalten können, normale oder abnorme Krystalle sind.

§. 45. Fuchs in München hat Pogg. 1834. XXXI. p. 577. nachgewiesen, daß sämmtliche kieslige Mineralien entweder aus rei-

nem Quarz oder Opal oder aus einem Gemenge von beiden beſtehen. Der Quarz iſt deutlich kryſtalliniſch; der Opal dagegen zeigt keine Spur von Structur. Er iſt ſcheinbar amorph und unterſcheidet ſich von dem Quarz durch die geringe Kraft, mit der er den Auflöſungsmitteln widerſteht, und das etwas kleinere ſpecifiſche Gewicht. Eben ſo verhält ſich nach Fuchs das Schwefelantimon, das geſchmolzen und langſam abgekühlt dem Antimonglanze gleicht, und deutlich kryſtalliniſch iſt, dagegen ſchnell abgekühlt, als Kermes zu einem Glaſe mit muſchligem und unkryſtalliniſchem Bruche wird. Die Härte iſt dann größer, als die natürliche auf den Durchgängen iſt (Siehe Kryſtallkunde §. 93) und ſein ſpecifiſches Gewicht kleiner, ſtatt 4,7 nur 4,15. Wie Opal zum Quarz, verhält ſich ferner der mineraliſche Moor zum Zinnober. Er unterſcheidet ſich von ihm durch die Färbung des Pulvers und durch die Abweſenheit jeden Anſcheines von Structur. Man könnte dieſen noch das gewöhnliche Glas beifügen, das ebenfalls ſchnell abgekühlt keine Spur eines kryſtalliniſchen Gefüges hat, langſam gekühlt dagegen kryſtalliniſch wird, und wenn es gefärbt iſt, einige Unterſchiede in ſeiner Färbung zeigt.

Nach Fuchs's Meinung ſind es immer zwei ihren elementaren Beſtandtheilen nach gleiche, aber iſomere Bildungen wie Aragonit und Kalkſpath, nur mit dem Unterſchiede, daß hier eine von beiden amorph iſt. Fuchs wirft dann die Fragen auf, ob die Kräfte in den amorphen Körpern mehr im Gleichgewichte ſeien, wie in den kryſtalliſirten? ob die Expanſivkraft ein Uebergewicht über die attractive habe? ob die Wärme in den amorphen inniger und in größerer Menge gebunden ſei? ob die Materie den Raum in den amorphen ſtetig fülle, in den kryſtalliniſchen dagegen nicht?

§. 46. Wir halten alle dieſe Körper für Aggregate vieler Kryſtalle, für erſtarrte Gallerte, und erklären uns das geringe ſpecifiſche Gewicht und die Leichtigkeit der Auflöſung durch die Anweſenheit von Poren, die bei dem Opal, in Folge ſeiner Bildung aus einer Gallerte eben ſo wenig fehlen können, als bei dem gebrannten Thone, und in welche das Auflöſungsmittel leichter eindringt, als in die compacte Quarzmaſſe, ſo fein ſie auch zerrieben ſein mag; denn durch mechaniſche Proceſſe erlangt man niemals eine Zertheilung, die der auf chemiſchem Wege erlangten gleichkommt. Auch im Eiſen findet ſich in Folge der Bearbeitung eine ſehr ver-

schiedene Angreifbarkeit durch Säuren vor. Indessen will ich die Möglichkeit einer Dimorphie des scheinbar glasartigen und des deutlich krystallinischen Zustandes bei den erwähnten Körpern nicht bestreiten, obgleich man hier, wie bei allen neu entdeckten Naturphänomen, etwas zu weit zu gehen scheint, indem man Isomerien annimmt, wo eine durch die Bereitungsart gerechtfertigte Abänderung der Textur zur Erklärung hinreicht.

Zweiter Abschnitt.

Bewegung in dem Innern der festen Körper, Elementarbewegungen.

§. 47. Man nimmt gewöhnlich an, daß die Theile in dem Innern eines festen Körpers vollkommen in Ruhe seien, und daß seine Gestalt ohne Hinzutreten fremder Kräfte keine Veränderung erleiden könne. Wenn die Wärme oder die Adsorption von Feuchtigkeit das Volumen verändern, so sei es nur vorübergehend, und es kehrt in seinen vorherigen Zustand zurück, sobald die fremden Kräfte ihren früheren Grad wieder erlangt haben. Zwar beobachtete man hin und wieder auch einige bleibende Veränderungen in festen Körpern; allein man erklärte sie ebenfalls zu einer Folge der Feuchtigkeit und der Wärme, die zuweilen eine Rolle dabei spielen, und beachtete sie nicht weiter; wie man in der Physik oft mit Erscheinungen verfährt, die sich dem herrschenden System nicht fügen wollen.

Die Beispiele von innerer Bewegung sind aber so zahlreich und mannigfaltig, daß man die Meinung, daß die Kräfte im Innern der festen Körpern im Gleichgewichte seien, aufgeben muß. Ich will diese Bewegungen in drei Klassen theilen:

1) Innere Bewegung in Folge einer chemischen Veränderung.

2) Innere Bewegung ohne Veränderung der Bestandtheile in Folge bloß innerer Kräfte.

3) Innere Bewegung in Folge äußerer Kräfte. Die letzte Klasse führt uns aus dem noch unbekannten Gebiete der Bewegungen durch verborgene Kräfte zurück in das Gebiet der bekannteren Cohärenz-Erscheinungen.

I. Elementarbewegungen in Folge einer chemiſchen Veränderung.

§. 48. Die Mineralogie bietet viele Beiſpiele von einer Veränderung der Beſtandtheile unter Beibehaltung der Kryſtallform dar. Man nennt ſolche umgewandelte Körper Afterkryſtalle. Die Urſachen aber, welche Kryſtalle umzuwandeln vermögen, bringen ganz ähnliche Metamorphoſen in Subſtanzen von nicht kryſtalliniſcher Geſtalt hervor. Ich will dieſe unter der Benennung der Afterformen zuſammenfaſſen, und ihnen auch diejenigen beizählen, wo der neu gebildete Körper die Geſtalt des frühern zwar nicht ganz beibehalten hat, aber doch ohne flüſſig geworden zu ſein aus Stücken von einer merklichen Ausdehnung beſteht. Unter den folgenden Beiſpielen wird man von den wichtigeren Umwandlungen dieſer Art nur wenige vermiſſen.

§. 49. Antike Kupfer-Gefäße oder Münzen, die lange Zeit in der Erde lagen, hatten ſich in deutliche Kryſtalle Kupferoxydul und an der äußeren Oberfläche in blaues oder grünes kohlenſaures Kupfer verwandelt (Nöggerath, Becquerel).

Antike Bronzen hatten ſich in ſchöne Kryſtalle von Kupferoxydul, die mit blauem kohlenſaurem Kupfer bedeckt waren, verwandelt, das Zinn war z. Th. in Zinnoxyd verändert (J. Davy, Nöggerath), oder ganz verſchwunden (Becquerel). Alte Medaillen harten durch dieſen Proceß ſogar das Gepräge nicht verloren. Ein im Meere gefundener antiker Helm beſtand von Außen nach Innen aus baſiſch ſalzſaurem und kohlenſaurem Kupfer, Zinnoxyd, kryſtalliſirtem rothem Kupferoxydul, reinem Kupfer und Bronze mit 18,5 p. c. Zinn (J. Davy).

Meſſing war zu Blende, Kupferoxydul und gediegenem Kupfer in Kryſtallen geworden (Nöggerath).

Eiſen hatte ſich z. Th. in ſchöne 1—2 Millim. große Kryſtalle von Eiſenoxyd-Oxydul und Eiſenoxyd verwandelt.

§. 50. Antimonoxyd findet ſich in der Form des Metalls.

Eiſenoxyd, in glänzenden regulären Oktaedern, iſt wahrſcheinlich Afterkryſtall des Oxydoxyduls. Seine Spaltungsflächen ſind nur Abſonderungen (Berthier, Berzelius, Haidinger). Eiſenglanz und Eiſenoxydhydrat in der Form des Spatheiſenſteins.

Schwefelkies und Speerkies werden zu Eiſenoxydhydrat. Dieſes durch Vermittlung von Schwefelkies zu Spatheiſenſtein (Sismondi).

Malachit und seltener auch Kupferlasur in der Form von Rothkupfererz; Kupferlasur wird zu Malachit; Kupferglanz zu Kupferkies, Kupferoxyd und Kupfersalzen.

Die Bleierze verwandeln sich in einander, und die neue Substanz erscheint als Aggregat von Krystallen unter der äußeren Form des umgewandelten Körpers. So Mennig in der Form von Weißbleierz; Bleivitriol mit Sprüngen nach den Würfelflächen und Aggregate von Weißbleierz-Krystallen in der Form von Bleiglanz; Bleiglanzwürfel in der äußern Form von phosphorsaurem Blei zusammengehäuft.

Manganhyperoxyd in der Form von Oxydhydrat und andern Manganverbindungen.

Wolframkrystalle in der Tungsteinform.

Speckstein wird in der Form von Granat, Feldspath, beobachtet; Schwerspath in der Form von Witherit, der sich zuweilen noch im Innern vorfindet; Prehnit in Analcimform.

Flußspath in Gypsform mit Spuren des Gyps-Durchganges; Onarzkrystalle und andre kieslige Gesteine in den Formen von Datolith, Kalkspath u. a. m. gehäuft

Kiesel, Kalkstein finden sich in der Form von Knochen, Conchylien vor, und zeigen in ihrem Innern nicht nur deutliche Spuren von dem Gefüge der organischen Substanz, sondern es sind oft Krystalle von bedeutender Größe und deutlichen Durchgängen (Hessel u. A.).

§. 51. Diese Umwandlungen bedürfen meistentheils eines sehr langen Zeitraumes zu ihrer Bildung und können gewöhnlich nicht durch Kunst hervorgebracht werden. Aber ganz ähnliche bilden sich auch vor unsern Augen. Wenn ein flüchtiger Bestandtheil entweicht, sei es in gewöhnlicher, sei es in höherer Temperatur, so behält das zurückbleibende zuweilen die Form des Ganzen bei, jedoch gewöhnlich mit einer Verkürzung in allen Dimensionen. Ist die Quantität des flüchtigen Bestandtheiles ziemlich bedeutend gegen das übrige, so wird es eine poröse Masse, ein Skelett, das oft zu einzelnen Krystallen von erkennbarem Gefüge auseinander fällt. Dieses Skelett ist aber keinesweges ein Educt, sondern ein Product der Zersetzung. Die Verbindung mag chemisch oder nur physisch gewesen sein, in beiden Fällen haben sich die Bestandtheile ganz durchdrungen und wenn man den einen Bestandtheil nach der Trennung

in Theilen von einem gewissen Umfange sieht, so kann dieß bloß eine Folge von einer durch die Zersetzung bedingten Aggregirung des festen Körpers sein. Dasselbe findet sich auch, wenn ein Bestandtheil durch eine auflösende Flüssigkeit entfernt ist, und bei fein zertheilten mechanischen Verbindungen.

§. 52. Viele Hydrate verlieren in gewöhnlicher Temperatur einen Theil ihres Wassers oder werden ganz wasserfrei und verwandeln sich mit Beibehaltung der äußern Form in ein Aggregat von Krystallen, die ihrer neuen Zusammensetzung angehören, z. B. Kochsalz (Marx); unterschwefelsaures Kali (Heeren); zweifach vanadinsaures Natron; selensaures Natron wird durch mäßige Erwärmung zu wasserfreien Krystallen von 10 Millim. Länge (Mitscherlich). Zweidrittel schwefelsaures Eisenoxydkali (Maus), Tellurhydrat (Berzelius), Gyps u. A. verhalten sich eben so und behalten sogar zuweilen ihren Glanz. Aehnliche Resultate erlangt man, wenn man Kalkhydrat mit 5 Proportionen Wasser (Pelouze) oder Eisenvitriol (Mitscherlich) in Alkohol kocht.

In dem letzten Falle hat das nur die Hälfte seines Wassers behaltende Eisensalz im Innern Höhlungen mit glänzenden Krystallen des neuen Salzes.

Skelette von edlen Metallen bleiben oft bei der Reduction ihre Oxyde oder Salze zurück, z. B. bei Platin, Iridium, Gold. Die Koaks sind Skelette von Steinkohlen. Unterschwefelsaures Kali wird durch Erwärmen zu schwefelsaurem Kali (Heeren), Chloralumin verliert Wasser und Chlor (Bonsdorff); salpetersaures Blei wird zu Oxyd (Berzelius) und selbst salpetersaures Silber, das mehre Monate in ungeleimtem Papiere lag, verwandelt sich in geschmeidiges Silber (Filière). Ueberall mit unveränderter äußerer Form.

Jodsaures Natron, mit einer Lösung Jod-Natrium begossen, wird zu iodigsaurem Natron (Mitscherlich).

Eine Gold-Silberlegirung, welche mindestens 0,75 Gold enthielt, ließ in Salpetersäure ein Gold-Skelett zurück.

Gußeisen wird durch Holzsäure zu Graphit. Gußeisen oder Stahl mit Eisenfeile geglüht, wird zu gemeinem Eisen; Stabeisen mit Kohle oder an Kohle reichen Stoffen umgeben, wird zu Stahl.

Kohlensaures Natron, in eine Atmosphäre von Kohlensäure gebracht, wird zu einem Aggregat kleiner Krystalle doppelt kohlensauren Natrons (Schindler). Eisenoxyd und kohlensaures Eisen, über

welche Schwefelwasserstoff streicht, behalten ihre Gestalt und dem Anscheine nach ihre Durchgänge bei und werden zu geschwefeltem Eisen (Berzelius).

Palladium in dem Dochte einer Lampe verbindet sich mit der Kohle und schwillt dabei zu einem Stoffe auf, der dem Volumen der Palladiumstücke ähnlich, aber weit größer ist. Späterhin verbrennt die Kohle wieder und läßt das Palladium als Skelett zurück. Auch Platina erleidet durch Kohle eine ähnliche, aber weit schwächere Umwandlung. Eisen und andre Metalle, die dem Strom eines Kohlen- oder Wasserstoff-haltigen Gases ausgesetzt werden, scheinen ähnliche Verbindungen eingehen zu können, und die Sprödigkeit, welche ein Glasstrom in mehrern Metallen hervorbringt, davon herzurühren.

Als Gold und Silber, bei einer dem Schmelzpuncte des Silbers nahen Temperatur auf einander gelegt, aber späterhin keiner höhern Temperatur als 320° ausgesetzt wurden, fand Prinsep, daß Silber in das Gold eingedrungen war und seine Oberfläche rauh, krystallinisch gemacht hatte.

§. 53. Am deutlichsten ist die von einer chemischen Veränderung begleitete innere Bewegung bei den isomeren Körpern. Die elementaren Bestandtheile und gewöhnlich auch die äußere Form bleiben unverändert; die Structur wird aber gänzlich umgewandelt.

Prismen von schwefelsaurem Nickel, die der Sonnenwärme ausgesetzt werden, verwandeln sich in Aggregate von Quadratoktaedern, die mehrere Millimeter lang sind. Selensaurer Zink verwandelt sich schon binnen wenig Augenblicken auf warmen Papier (Mitscherlich). Schwefelsaurer Zink und Talk in Oel auf etwa 50° erhitzt, werden undurchsichtig und die äußeren Formen des gemeinen Bittersalzes umschließen ein Aggregat rhombischer Krystalle. Das Ganze zerfällt leicht (Haidinger und Mitscherlich). Jodin-Queckſilber bildet sich in schwefelgelben Tafeln. Eine geringe Reibung bringt eine scharlachrothe Farbe hervor, die sich mit einer deutlichen innern Bewegung über den ganzen Krystall verbreitet. Erwärmung führt den frühern Zustand zurück (Hayes). Arragonit im Glaskolben erhitzt, zerspringt plötzlich. Kalkspath bleibt unverändert. Es ist möglich, daß der Arragonit dabei zum Kalkspathe wird. Aehnliche Unterschiede finden sich auch zwischen andern isomorphen Krystallen.

Geſchmolzener Schwefel iſt monokliniſch und durchſichtig. Nach einigen Tagen wird er opak, vielleicht indem er in die rhombiſche Form übergeht.

Unſer Flußſand iſt unter dem Mikroſkope ein rohes Felsſtück. Leeuwenhoek hat aber den Seeſand der holländiſchen Küſte gewöhnlich als ſchön kryſtalliſirte Bergkryſtalle beobachtet. Dieſes würde unmöglich ſein, wenn er, wie man anzunehmen pflegt, von der Zertrümmung der Felſen durch die Meereswellen herrührte. Vermuthlich ſind die kleinen Kryſtalle entweder unmittelbar gebildet oder ſie verdanken ihr Daſein einer Dimorphie.

Auch das Verwittern der Kryſtalle ſcheint zum Theil eine Folge einer ſolchen Umwandlung zu ſein. Es beginnt zwar in der Regel an einem der Luft und der Feuchtigkeit ausgeſetzten Orte, erſtreckt ſich aber von da aus ganz wie die Kryſtalliſation in einer erſtarrenden Maſſe nach allen Seiten hin, nach Innen faſt eben ſo weit als über die Oberfläche.

Aehnliche Proceſſe bei verwitterndem Feldſpath, Augit u. ſ. w. weiſt Fournet nach (Ann. Ch. Ph. 1834. LV. p. 235).

§. 54. Der Uebergang zwiſchen zwei dimorphen oder iſomeren Körpern bietet einige Erſcheinungen dar, die dem Uebergange zwiſchen dem ſtarren und flüſſigen Zuſtande ähnlich ſind. Es hat z. B. den Anſchein, daß der in niedriger Temperatur ſich bildende Körper, ſobald er eine gewiſſe Temperatnr erreicht, plötzlich in den andern Zuſtand übergehe, wogegen der in höherer Temperatur gebildete auch in einer niederen exiſtiren kann, dem Waſſer, Schwefel, Phosphor, Metall ähnlich, die wol unter ihrem Schmelzpuncte flüſſig bleiben, allein wo kein Theilchen über dem Frierpuncte feſt ſein kann. Eine kleine Erſchütterung reicht auch bei dem zu ſehr abgekühlten Kryſtalle zuweilen hin, ihn in die der kalten Temperatur entſprechende Form zu verſetzen, wie bei dem Phosphor und Waſſer. Dem Frei-werden der Wärme beim Erſtarren analog iſt die ſtarke Wärme-Entwicklung, welche bei einigen vor dem Löthrohre behandelten Proben, während der Erkältung, bei gewiſſen Temperaturen eintritt.

Fragen, wie die, ob ein jeder Körper, ehe er ſchmilzt, eine Wanderung durch mehrere Formen erleiden muß? Ob in der Reihenfolge der Formen ein für verſchiedene Körper gemeinſames Geſetz ſtatt findet? u. a. m. können noch nicht beantwortet werden.

Die Kryſtallform, die ſich im Momente des Erſtarrens bildet, gehört bald dem teſſeralen (einige Metalle, Phosphor), bald dem rhomboedriſchen (Arſenik, Antimon, Kalkſpath?), bald dem monokliniſchen (Schwefel), unſtreitig zuweilen auch anderen Syſtemen an.

Wäre es erwieſen, daß der Uebergang zwiſchen dimorphen Körpern an eine gewiſſe Temperatur gebunden iſt, ſo könnte man aus dem Daſein mancher Kryſtallformen, die keine Umbildung erlitten haben können, über die bei der Bildung einiger Formationen ſtatt gefundene Temperatur entſcheidende Reſultate erlangen.

II. Elementare Bewegung ohne chemiſche Veränderung.

a. Kryſtalliſation.

§. 55. Unkryſtalliſirte Körper werden zuweilen bald in gewöhnlicher, bald in höherer Temperatur zu deutlichen Kryſtallen. Hin und wieder mag dieſe Umwandlung von einer iſomeren Veränderung herrühren; jedoch iſt dieſes gewiß nicht immer der Fall. Der Proceß iſt offenbar nur ein Product der auch im feſten Körper nicht ganz ſchlummernden Kryſtalliſationskraft und bedarf nur der Zeit, um ſich zu entwickeln.

Die zahlreichen Kryſtalle, die bei feſten Körpern, welche mit Auflöſungsmitteln behandelt werden, erſcheinen, gehören nicht hierher. Sie ſind ſchon vorher da geweſen und nur das, was ſie verdeckte, iſt durch die Auflöſung oder das Abſchmelzen entfernt worden.

§. 56. In gewöhnlicher Temperatur und binnen wenigen Tagen oder Wochen hat man bis jetzt bei folgenden feſten Körpern eine deutliche Kryſtalliſation wahrgenommen.

Antimonoxyd, aus ſalpeterſaurem Antimon bereitet und mäßig erwärmt, erglüht plötzlich, ein Theil reducirt ſich dabei, ein anderer verwandelt ſich aber in Kryſtallnadeln (Blei). Das Oxyd iſt zweier Kryſtallformen fähig. Indeſſen wird es vielleicht durch die Erhitzung geſchmolzen und dann hat die Kryſtalliſation nichts ungewöhnliches. Beiſpiele von Erglühen und theilweiſe ſchnell eintretender Kryſtalliſation ſind bei Löthrohr-Verſuchen nicht ſelten.

In einer hermetiſch geſchloſſenen Flaſche wurden Ammoniakflüſſigkeit und Kalkhydrat zuweilen von der Sonne beſchienen. Nach einem halben Monate hatte ſich das Kalkhydrat zu ſechsſeiti-

gen Prismen und Blättern gebildet. Dieſe Beobachtung verdient wegen der Umſtände und des Products eine genauere Beobachtung (Righini).

Schwefelſaures Natron hatte aus einem feuchten Raume 12 Portionen Waſſer angezogen, war aber ganz trocken und kryſtalliniſch. Nach zwei Tagen hatte ſich das Pulver zu einer Kryſtallmaſſe von der Form des Glauberſalzes verwandelt. Etwas freies Waſſer war dabei nothwendig (Graham).

Benzamid erſtarrt bei langſamer Erkältung und großer Concentration zu einer aus Kryſtallnadeln beſtehenden Maſſe. Dieſe verwandelt ſich aber nach einiger Zeit in gut ausgebildete Kryſtalle (Liebig und Wöhler).

Salpeterſaures Chinin und Cinchonin und phosphorſaures Cinchonin ſcheiden ſich bei ſchneller Abdampfung ihrer Auflöſungen als eine ölige Maſſe aus, die ſich zu wachsartiger Conſiſtenz verdichtet. Läßt man ſie auf dem Boden des Gefäßes einige Linien hoch mit Waſſer bedeckt, ſo verwandelt ſich das Ganze in eine Kryſtalldruſe mit glänzenden Flächen, ja oft in einen einzigen Kryſtall (Dumas und Pelletier), von derſelben chemiſchen Zuſammenſetzung.

Gerſtenzucker, neu bereitet, iſt eine glasartige Maſſe mit muſchligem Bruch. Sich ſelbſt überlaſſen wird ſie nach einigen Tagen opak, es bilden ſich regelmäßige Nadeln und im Innern entſtehen Lücken, die vorher fehlten (Braconnot). Indeſſen iſt nach Graham etwas Waſſer nöthig, das indeſſen bloß mechaniſch wirkt.

Eisſtücke oder Schnee, ſelbſt wenn ſie ſeit ihrer Anhäufung unter 0° C. bleiben, verbinden ſich zu einem mehr oder weniger ſtetigen Ganzen. Man erklärte es mit Unrecht durch Verdampfung.

§. 57. Man muß jedoch der Feuchtigkeit keinen zu großen Einfluß einräumen, denn was, freilich nur ſelten, in niedriger Temperatur geſchieht, wiederholt ſich ganz auf dieſelbe Weiſe, wenn die Subſtanzen einer höheren Temperatur ausgeſetzt ſind.

Graugußeiſenplatten, die an dem Roſt eines Hochofens befeſtigt, Monate lang der Weißglühhitze ausgeſetzt werden, haben ein großblättriges würfliches Gefüge erlangt und waren durch Verluſt von etwas Kohle geſchmeidiger geworden (Wöhler).

Gußeiſen oder Stabeiſen, das im Hochofen lange Zeit

der Glühhitze ausgesetzt war, erlangt Durchgänge nach drei senkrechten Richtungen (Wöhler, Zinken, Berzelius). Zuweilen bilden sich im Innern deutliche Krystalle aus. Vorzüglich zum Krystallisiren geneigt ist das am schwersten schmelzbare, fast kohlenfreie, sogenannte verbrannte Eisen.

Graphit, mehrere Stunden weiß geglüht, wird faserig und durchscheinend.

Die Metalle, welche durch bloße Wärme reducirt werden, werden um so deutlicher krystallinisch, je stärker die Hitze bei ihrer Reduction war.

Platin, das längere Zeit in der Schmelzhitze des Eisens gehalten wurde, wird an der Oberfläche rauh krystallinisch (Daniell). Indessen könnte dieses auch von der Kohle herrühren, die sich mit dem Platina wie mit dem Palladium verbindet und später verbrennt (§. 52).

Entglasung.

§. 58. Unter Glas begreifen wir jeden festen Körper von einem dem Anscheine nach stetigen gleichförmigen Gefüge, dessen Structur aber nach verschiedenen Richtungen gleich ist.

Ein großer Theil, vielleicht alle Gläser, die wir kennen, haben die Eigenschaft, wenn sie auf eine Temperatur erhitzt werden, welche noch nicht hinreicht, ein merkliches Erweichen, eine Aenderung der Form, hervorzubringen, sich zu entglasen. Dieses besteht in einer Bildung von Krystallen, die zuweilen groß genug sind, um deutliche Facetten zu zeigen; gewöhnlich aber dem bloßen Auge nur als ein Aggregat regelmäßig geordneter Fasern und Blätter erscheinen. Je länger die Substanz in der hohen Temperatur verharret, desto ausgezeichneter wird diese Bildung, desto tiefer dringt sie in die Masse ein. Statt des muschligen, nur von der Richtung der Erschütterung abhängigen Bruchs, erlangt er körnigen, faserigen, indem die neugebildeten Krystallindividuen sich leichter von einander trennen, als die Theile eines Individuums. Die Masse, die bisher zuweilen durchsichtig war, weil die einzelnen Individuen, aus denen das Glas besteht, sehr klein sind, läßt den Stral nicht ohne innere Reflexionen hindurch, wird durchscheinend und selbst undurchsichtig, wie Porcellan, oder wie ein Stein, dessen mechanische Bestandtheile, für sich betrachtet, ebenfalls ganz durchsichtig sind.

Mit dieſem Bildungsproceſſe iſt gewöhnlich auch eine Entmiſchung verbunden, nicht eine Trennung der chemiſchen Beſtandtheile, ſondern nur der mechaniſchen. Die Gläſer beſtehen ſelten aus einer ganz feſten chemiſchen Verbindung, beim Eiſen z. B. bildet ſich ein Glas nur dann, wenn ihm eine gewiſſe Menge Kohleneiſen beigemengt iſt. Aehnliches ſcheint auch bei den meiſten Schlacken, dem geſchmolzenen und erſtarrten Baſalte und den gemeinen Gläſern ſtatt zu finden. Zwar giebt es viele Präparate von feſter chemiſcher Verbindung, die man Gläſer nennt und die man im Tiegel oder auf dem Löthrohre bereitet; aber es läßt ſich von mehreren derſelben erweiſen, daß ſie keine Gläſer in unſerem Sinne ſind, indem ſie einen kryſtalliniſchen Bruch haben. Die heterogenen Beſtandtheile trennen ſich nun, und dieſes trägt viel zu der Undurchſichtigkeit und der Veränderung der Cohäſionserſcheinungen bei. Zuweilen mag auch eine Iſomerie eintreten oder ſich wirklich ein chemiſch neuer Stoff bilden; indeſſen liegt darin keine nothwendige Bedingung der Entglaſung.

Am leichteſten entglaſen ſich daher Stoffe, bei denen die Mengung am ſtärkſten iſt, z. B. geſchmolzene Baſalte, Laven, Trachyte, Schlacken aller Art, Bouteillenglas, Flintglas. Weniger ſtark die Gläſer mit bloß alkaliſchen Baſen. Ferner Stahl, Roheiſen, in denen die chemiſche Verbindung des Kohleneiſens mit Kohle und Eiſen gemengt iſt.

§. 59. Die Producte, welche ſich dabei bilden, ſind verſchieden, je nach der Beſchaffenheit des Körpers und der Höhe und der Dauer der Temperatur.

Im Eiſen ſind es oft deutliche Kryſtalle ſowohl von Eiſen als von Graphit. In den Gläſern und Schlacken der Hochöfen ſind es Faſern, die bald iſolirt in die Maſſe hineingehen, bald ſich ſternförmig, wie das Eis, unter 60° oder andren Winkeln aggregiren, bald ſich parallel ſtellen, bald nach allen Seiten concentriſch divergiren. Zuweilen ſind es Blättchen, die parallel oder geneigt neben einander liegen. Zuweilen wird der Bruch der ganzen Maſſe körnig, wobei vermuthlich, wie im Marmor oder Alabaſter, alles in kleine Kryſtalle verwandelt iſt. Wie bei allen Kryſtalliſationen bilden ſich auch hier Centra, von denen ſie ſich nach mehreren Seiten verbreiten. Bei Glasmaſſen, die abkühlen, z. B. bei den Glasſtücken, die in den Schmelzöfen zurückbleiben, ſcheint die Kry-

stallbildung von der Mitte aus zu gehen, bei kleinen Glasgefäßen, die man durch Umgebung schlecht leitender und erhitzter Stoffe langsam abkühlen läßt, dagegen von Außen nach Innen fortzuschreiten, so daß das Aeußere entglast ist, während das Innere seinen ursprünglichen Zustand behalten zu haben scheint. Die entglaste Masse ist etwas härter, schwerer und für Wärme und Elektricität besser leitend geworden. Auch ist sie weniger schmelzbar als gemeines Glas, und soll vor dem Schmelzen nicht erweichen.

Auf diese Weise entsteht unstreitig ein Theil der Krystalle in der Lava und im Basalt, deren Bildung der Krystallisation sehr günstig ist, indem die Abkühlung langsam von Statten geht. Ein andrer Theil mag unmittelbar aus dem flüssigen Zustande entstanden sein. Indessen ist die Lava weniger eine geschmolzene, als eine sehr erweichte Steinmasse. Eine Menge von Bildungen in vulcanischen und plutonischen Gesteinen, ja die spätere Ausfüllung der Gänge selbst, muß man sich zum Theil durch eine solche Entmischung eines unkrystallinischen Körpers erklären, der zwar nicht mehr Weichheit genug besitzt, um seine Gestalt zu verändern, aber jene Elementarbewegungen, die zur Krystallisation führen, noch gestattet. Die Kraft, welche unkrystallinische Stoffe in Krystalle verwandelt, kann natürlich auch bloße Spuren von Krystallisation zu einer höheren Vollkommenheit entwickeln. Halbentglaste oder körnige, faserige Substanzen sind Beispiele davon.

§. 60. Die Entglasung des gemeinen Glases wurde zuerst von Reaumur beobachtet. Mém. de l'Acad. 1739. p. 370. Reaumur's Arbeiten über die Thermometer, wodurch er den Physikern am meisten bekannt ist, stehen denen seines Zeitgenossen Fahrenheit nach. Aber seine übrigen Untersuchungen sind so schön gedacht und beschrieben, daß man an die besten Schüler Newton's oder an Montanari erinnert wird.

Keir Philos. Trans. 1776. p. 536. Die Hauptarbeit. Die zahlreichen Versuche sind sehr gut beschrieben.

Die folgenden haben den Keir'schen Untersuchungen sehr wenig hinzugefügt.

Pazot des Charmes Journ. de Phys. 1788. XXXIII. p. 211.

Achard Mém. de Berlin, 1793. p. 19. Ganz unbedeutend.

Le Sage Journ. de Phys. 1800. LVII. p. 107. Eben so.

G. Watt Philos. Trans. 1804. p. 279. Ueber Baſalt. Aehnliche Beobachtungen hat nach Bellani's Bericht Amoretti gemacht.

Dartigues Journ. de Phys. 1804. LIX. p. 5. So oft auch ſeine Arbeit genannt wird, ſo enthält ſie doch nur wenig neues, und das ältere iſt weder in der Beſchreibung noch in der Erklärung zu empfehlen.

Guyton Morveau Ann. Chim. LXXIII. 1810. p. 111. Wiederholung älterer Verſuche.

Gilbert Gilb. Annal. 1805. XXII. p. 36.

Karſten Eiſenhüttenkunde. Ueber das langſam gekühlte Roheiſen.

§. 61. Durch alle in dieſem Abſchnitte angeführten Bewegungen nähert ſich der Körper dem kryſtalliniſchen Zuſtande. Ihre Zahl iſt zwar klein; allein ſie würde gewiß beträchtlich vermehrt werden, wenn man auf dieſe Umwandlung mehr Aufmerkſamkeit verwenden wollte. Dagegen giebt es, wenn nicht fremde Kräfte thätig ſind, kein Beiſpiel von einer Veränderung in entgegengeſetzter Richtung. Ein normaler Kryſtall bleibt ſich gleich, dagegen nur dem Anſcheine nach normale Gläſer, ſämmtlich die Eigenſchaft zu haben ſcheinen, kryſtalliniſch zu werden, beſonders wenn die Theile durch eine höhere Temperatur oder ein wenig hygroſkopiſcher Feuchtigkeit beweglicher gemacht werden. Man darf daher wol die Vermuthung aufſtellen, daß alle Körper nur dann im Gleichgewichte ſind, wenn ſie aus Kryſtallen beſtehen, und daß ſie ſich dieſem Zuſtande zu nähern ſuchen, wenn die Theile ſich unregelmäßig berühren oder abnorm ſind.

b. Elementar-Bewegung ohne Bildung deutlicher Kryſtalle.

§. 62. Das Gefüge der feſten Körper, durch die in ihrem Innern wirkenden Kräfte allmälig verändert, wird jedoch nur ſelten kryſtalliniſch, gewöhnlich beſchränkt ſich die Veränderung auf das Volumen und die Cohärenz, ohne daß man einen Unterſchied in verſchiedenen Richtungen wahrnehmen könnte. Sie tritt in zwei von einander abweichenden Verhältniſſen auf:

1. in poröſen Subſtanzen
2. in Subſtanzen von ſtetiger Textur.

Die Bewegungen der zweiten Klaſſe beſtehen in einer Auf-

bung einer Spannung, welche von der Wirkung entweder ganz äußerer Körper oder durch entfernte Theile desselben Körpers herrührt. Wir werden sie daher mit in dem folgenden Abschnitt behandeln und beschränken uns auf die Bewegungen in porösen Substanzen.

Sintern poröser Substanzen.

§. 63. Man nimmt diese Erscheinungen am besten im Porcellanthone wahr. Dieser besteht aus kleinen, und wenn er gut ist, die Grenze unsrer Mikroskope überschreitenden Individuen, die größtentheils durch Verwitterung von thonhaltigen Gesteinen entstanden sind. In ganz trockner Luft ist er eine zerreibliche Masse; mit Wasser angerührt, ist sie zähe, mit den (Cohärenz der Flüssigen §. 70) beschriebenen Eigenschaften. Einer höhern Temperatur ausgesetzt und dann abgekühlt, erleidet der Thon folgende, mit der Intensität und im geringern Grade auch mit der Dauer der Wärme fortschreitende, bleibende Veränderungen, die man nach seiner Abkühlung beobachtet.

1. Das Wasser verdampft und die Thontheilchen nähern sich. Erde.

2. Nachdem keine bemerkliche Quantität Wasser mehr vorhanden ist, zieht der Thon sich im Feuer bleibend zusammen. Porcellan.

3. Der Thon schmilzt. Glas.

Zwischen dem Erden- und Porcellan-Zustande dehnt sich die Thonmasse in der Nähe der Glühhitze etwas aus. Wedgwood glaubt, daß dieses von entweichender Luft herrühre. Dieses ist möglich, denn eine Hypothese eines Mannes wie Wedgwood ist nicht ohne weiteres zu verwerfen. Hat er aber keine bestimmten, auf Luftentwickelung hinweisenden Erscheinungen beobachtet, so möchte ich die Ursache in der bei allen Körpern, auch dem Thone, statt findenden Ausdehnung durch Wärme suchen. Nimmt man das erhitzte Thonstück heraus, so erstarrt die Oberfläche zuerst und das Volumen wird größer. Aehnliches wird bei allen Körpern, auch Metallen, beobachtet und muß bei dem porösen und schlecht leitenden Thone noch leichter eintreffen. Zwischen der Periode der Vermehrung des Volumens und den beiden Perioden der Verminderung müssen zwei Zwischenräume eintreten., wo der Thon sein Vo-

lumen zu behalten ſcheint; dieſes iſt beſonders zwiſchen der Siedhitze des Waſſers und der Glühhitze der Fall.

Die Contraction nimmt an Intenſität ab, je weiter ſie vorgeſchritten iſt und in der Nähe des Schmelzpunctes wird wiederum eine von der Wärme mittelbar hervorgebrachte Ausdehnung des Volumens herrſchend, und dieſe ſchreitet fort, bis der Thon ſich verglaſet, d. h. oberflächlich ſchmilzt, und endlich ganz geſchmolzen iſt.

§. 64. Die Temperaturen, wo die Wärme-Contraction merklich zu werden beginnt und wo die Maſſe ſchmilzt, ſind bei verſchiedenen Thonarten ſehr verſchieden. Bei dem von Wedgwood zu Pyrometern benutzten Thone ging der Porcellan-Zuſtand von 0^0 — 160^0 W. Bei andren fängt er bei 4, 6, 15^0 W. an, endigt früher und erſtreckt ſich zuweilen nur über 20^0 W. Der Grad der Contraction hängt nicht beträchtlich von der Dauer der Wärme, ſondern mehr von ihrer Höhe ab (Wedgwood, Morveau gegen eine entgegengeſetzte Behauptung von anderen).

Von dem Siedpunct des Waſſers bis zur Glühhitze verliert der Thon an Luft und an Waſſer noch einige Procente, während des eigentlichen Porcellan-Zuſtandes iſt aber gar kein merklicher Verluſt mehr, obgleich die Contraction in dem Pyrometer-Thone in jeder Dimenſion $\frac{1}{4}$ beträgt, das Volumen alſo auf $\frac{1}{2}$ reducirt wird. Es iſt mithin eine wahre, nicht durch Feuchtigkeit, ſondern durch die im Innern wirkenden Cohäſionskräfte erzeugte Elementarbewegung, welche die anfangs unverbundenen Theile einander nähert und ſie compacter, härter und gegen chemiſche Agentien minder empfindlich macht.

Wedgwood Phil. Trans. 1782 p. 305; 1786 p. 390. die Hauptarbeit.

Guyton Morveau Ann. de Chim. 1811 LXXVIII. p. 73.

J. Hall Edinb. Trans. 1812. VI. p. 100, ſtarke Erweichung von Porcellanröhren, ohne Spur von Schmelzung.

§. 65. Wie der Thon verhalten ſich alle andren poröſen Körper, Jaspis, Mörtel, alle Gläſer, viele feine Präcipitate, die mit der Zeit, zuweilen ſelbſt ohne Erhöhung der Temperatur, erhärten, wie Platina (Wollaſton), Palladium, Iridium (Wöhler), die als ganz feiner Staub reducirt und vor dem Glühen durch ſtarken Druck einander genähert ſind. Gleichzeitig wirkend würden Druck und hohe Temperatur der

Annäherung der Metalltheile am günstigsten sein. Aber die Temperatur allein verändert ihre Porosität und ihre Fähigkeit, Wasserstoffgas zu entzünden, schon sehr beträchtlich.

Das sogenannte Todtbrennen von kohlensauren und schwefelsauren Kalk haltigen Substanzen beruht wahrscheinlich ebenfalls auf einer großen Annäherung und Erhärtung der Theile, die ganz feine Pulver sein müssen, wenn man sie zu den gemeinen technischen Zwecken anwenden will.

Eine Folge dieses Sinterns poröser Massen sind die Spalten, mit welchen sie sich bei Veränderungen der Temperatur durchziehen, ohne sich jedoch, wie es scheint, äußerlich in einer dem Volumen der Spalten angemessenen Weise zu vergrößern, z. B. die Sprünge in den sehr porösen Eisblöcken (Sefström), in den zu Sohlensteinen in Schmelzöfen benutzten Sandsteinen (Hausmann, Schweigg. Journ 1817. XIX. p. 220.; Hollunder Kastn. Archiv 1825. IV. p. 125. u. a.) und in den Basalten, Laven u. s. w. Solche Sprünge bilden, wenn sie die Masse unregelmäßig durchziehen, polyedrische Felsstücke, und wenn sie, wie es nach der Art, wie die Wärme ein- und austritt, gewöhnlich sein muß, alle perpendiculär sind, bringen sie 4, 5, 6 seitige Säulen hervor.

§. 66. Dieselbe Ursachen, welchen in dem Thone die eben beschriebenen Wirkungen hervorbringen, sind auch in allen organischen, ebenfalls porösen Erzeugnissen thätig, aber da der Stoff biegsamer, elastischer ist und die Poren eine regelmäßigere Gestalt haben, mit eigenthümlichen Nebenumständen.

Die Kohle steht den Thonarten am nächsten. Auch sie ist um so dichter, und leitet Wärme und Elektricität um so besser, je höher die Temperatur ist, in der sie bereitet, oder der sie nach der Bereitung, ohne verbrennen zu können, ausgesetzt ward. Die nicht verkohlten organischen Stoffe verhalten sich zwar ebenfalls wie der Thon, aber nur in dem ersten Stadium seiner Bildung. Die Feuchtigkeit entweicht sowohl durch höhere Temperatur, als in kalten aber sehr trockenen Räumen, aber in seinen frühern Zustand zurückversetzt nimmt der Stoff die verlorne Feuchtigkeit nicht wieder vollständig auf, ein Beweis, daß er eine bleibende Aenderung erlitten hat.

Die Zeit spielt hierbei eine wichtige Rolle. Wenn ein hy-

groſkopiſcher Körper eine kurze Zeit in einem trockenen Raume war, ſo erlangt er nachher ſeinen frühern Zuſtand wieder. Hatte er ſich aber längere Zeit darin befunden, ſo kehrt er nicht dahin zurück, z. B. das Haar im Hygrometer (Siehe Cohärenz der Flüſſigen §. 169), oder Holz und andre organiſche Producte, die nach einem trockenen Sommer ihre größere Dichtigkeit und die Krümmung, welche oft eine Folge davon iſt, auch in einer feuchten Luft beibehalten. Eine lang daurende Feuchtigkeit dagegen kann zwar den Körper erweichen, ihn der Verweſung nahe bringen, oder die chemiſche Zerſetzung begünſtigen, aber cohäſiv, indem ſie die Poren erweitert, wirkt ſie, ſo viel man weiß, nur unbedeutend.

Ganz wie die Trockenheit wirkt auch die Wärme. Auch durch ſie entweicht die Feuchtigkeit, und der Körper zieht ſich zuſammen. Directe Verſuche darüber hat nur Muſſchenbroek angeſtellt (Introd. ad Philos. natural. 1762. p. 619.). Er ſetzte Zähne, Elfenbein, Knochen verſchiedener Art, Fiſchbein, Horn, Darmſaiten, Holz, Kork verſchiedenen Temperaturen aus und maß die Ausdehnung. Anfangs wurden ſie von der Wärme ausgedehnt, ſpäter ziehen ſie ſich zuſammen und dieſe Zuſammenziehung war theilweiſe auch nach der Erkaltung bleibend. Leider hat er die bleibende Veränderung des Volumens nicht von der vorübergehenden geſchieden.

Die bisher angeführten Beiſpiele beziehen ſich zwar ſämmtlich auf das Waſſer, allein ohne Zweifel haben andre Flüſſigkeiten, oder in beträchtlicher Quantität abſorbirbare Gaſe dieſelben Eigenſchaften. Vielleicht daß etwas ähnliches in manchen hydrauliſchen Mörteln in Beziehung auf die Kohlenſäure ſtatt findet.

§. 67. Die Flüſſigkeit oder das Gas wirkt in den organiſchen Producten und in dem erſten Stadium der anorganiſchen wie eine innere, die Höhlungen ausdehnende Kraft. Sie werden durch die Adſorptionskraft zurückgehalten, durch Cohäſionskräfte andrer Art ſtreben die Theile ſich einander zu nähern und beide Kräfte bringen ein gewiſſes von der Verdampfbarkeit des Waſſers und der Temperatur abhängiges Gleichgewicht hervor. Sobald aber das Flüſſige entfernt iſt, nähern ſich die Theile und nehmen in Folge ihrer innern Kräfte eine bleibende Veränderung an, die aber, wie die in dem vorhergehenden Abſchnitte behandelten Bewegungen, immer nur langſam eintreten.

III. Elementare Bewegung durch äußere Kräfte entstanden.

§. 68. Bei der Entwickelung der Elasticitäts-Erscheinungen setzt man voraus, daß der Körper unter dem Einflusse äußerer Kräfte, seinen Zustand vorübergehend, und der Größe der Kraft beinahe proportional verändere. Aber wenn sie einige Zeit hindurch gewirkt haben, so wird diese Bedingung sehr selten erfüllt. Der Körper hat eine bleibende, mit der Zeit zunehmende Aenderung angenommen. Wird nun die fremde Kraft entfernt, so hört der Theil ihrer Wirkung, die bloß der Elasticität angehört, sogleich auf; der andre Theil bleibt aber, und verschwindet entweder gar nicht, oder nimmt nur in Folge neuer im Körper rege gewordener Kräfte langsam ab. Es sind also zwei Arten von Kräften zu betrachten. Erstlich die der fremden Kraft reagirenden und mit ihr entstehenden und verschwindenden, und zweitens Molecularkräfte, welche eine der in den vorherigen Paragraphen beschriebenen Elementar-Bewegungen ähnliche Wirkung hervorbringen, und eine Function sowohl von der Dauer als von der Intensität der fremden Kräfte sind.

Ist die Substanz einer constant wirkenden Kraft, z. B. einem Zuge, unterworfen, so wird sie vermöge ihrer Elasticität verlängert, und zwar um eine von der bleibenden Veränderung, die sie erleiden mag, wenn diese nur nicht zu stark ist, unabhängige Größe; die bleibende Veränderung aber vermehrt jedesmal die Wirkung der Kraft, also in dem angenommenen Beispiele die Länge. Wird die Substanz aber gespannt und in dieser Lage befestigt, z. B. wie ein Draht zwischen zwei Pflöcken, so wird ein Theil der Verlängerung, die er durch die Spannung erfahren hat, bleibend, und die Spannung nimmt fortdauernd ab. Es ist eine alte Erfahrung der Metallarbeiter, welche man bei den feinen Pendel- und Chronometerapparaten bestätigt hat, daß gespannte Drähte, Federn, z. B. an den Uhren, Metallthermometern, sich mit der Zeit entspannen (Berthoud, Weber, Savart u. v. a.)

§. 69. Glas wird für einen, solchen Veränderungen am wenigstens geneigten Körper gehalten; aber das Thermometer selbst bietet ein sehr ausgezeichnetes Beispiel davon dar. Die Thermometer sind luftleer, und wenn man von dem Drucke des Quecksilbers absieht, so hat die Glaskugel, den Druck einer Atmosphäre zu tragen, und wird um eine von ihren Dimensionen und der Spann-

kraft abhängige Größe verengt. Das Queckſilber ſteht daher höher; aber da die Differenz für alle Temperaturen conſtant und an ſich klein iſt, ſich auch bei der Verfertigung der Inſtrumente corrigirt, ſo iſt ſie ohne Nachtheil und braucht nur berückſichtigt zu werden, wo man bei ſehr verſchiedenem Luftdrucke beobachtet, z. B. auf hohen Bergen.

Wie die Luft von Außen, drückt die Queckſilberſäule von Innen, und bringt eine Erniedrigung der Säule hervor, die zwar von der Temperatur abhängig iſt, aber ebenfalls ſchon bei der Verfertigung corrigirt wird. Bei ſeinen Verſuchen mit Thermometern, die auf die gewöhnliche Weiſe bereitet, in horizontaler Lage angewendet worden, darf man ſie jedoch nicht vernachläſſigen. Man kann ſie benutzen, um, ohne das Inſtrument zu öffnen, den Betrag des Luftdruckes zu beſtimmen. Denn wenn die Differenz zwiſchen dem horizontal und vertical ſtehenden Thermometer bei einer Säule von 150 Millim. Länge etwa $0^0,1$ beträgt, ſo bewirkt der Druck der ganzen Atmoſphäre etwa 0,5. Die Differenzen ſind aber oft beträchtlich größer.

Unter dem Einfluſſe dieſer Druckkräfte, beſonders des ſtärkern und ununterbrochen wirkenden Luftdruckes, zieht ſich nun die dünnwandige Kugel bleibend zuſammen, und wie die Stoffe, von denen ich im Folgenden ſprechen werde, anfangs ſchnell, dann immer langſamer, ohne jedoch ſelbſt nach Jahren einen definitiven Zuſtand erlangt zu haben; ſo daß das Thermometer im ſchmelzenden Eiſe 0 bis 1^0 über dem früher beſtimmten Nullpunct ſteht; 1^0 entſpricht ungefähr $1/5500$ von dem innern Volumen oder $1/1800$ von dem Durchmeſſer der Kugel. Bei Weingeiſt-Thermometern würde dieſelbe Zuſammenziehung, nur $1/6^0$ ſein, alſo in der Regel unmerklich. Dieſe Größen hängen außer von der Zeit auch von den Dimenſionen der Kugel ab. Nach Lenz (Mém. de Peterb. 1830. I. p. 255) ſoll ſie in dickem Glaſe $= 0$ ſein, nach Egen's Verſuchen iſt ſie im dickern Glaſe kleiner; indeſſen habe ich ſelbſt in den greinerſchen Thermometern, deren Kugeln bekanntlich ſehr dicke Wände haben, eine Differenz von 0^05 gefunden. Den Fehler, wenn er einmal entſtanden iſt, anders als durch eine neue Beſtimmung des Nullpunctes zu corrigiren, iſt unmöglich. Bricht man die Spitze ab, ſo ſinkt das Queckſilber wegen des aufgehobenen Luftdruckes, aber um eine von jener bleibenden Aenderung ganz unabhängige Größe. Die

Veränderungen, welche der Luftdruck hervorbringt, werden zwar vermieden, wenn man das Thermometer nicht ſchließt, aber dieſes iſt aus andren Gründen nicht zu empfehlen.

Zuerſt hat Bellani dieſe Veränderung beobachtet. Flaugergues, Bürg u. a. haben ſie näher unterſucht. Die beſte Arbeit aber iſt von Egen Pogg. Annal. XI. 1827. p. 347.

§. 70. Die Wärme beſchleunigt und verſtärkt dieſe Wirkung. Wenn Kautſchuck einige Zeit in einem geſpannten Zuſtande erhalten wird, ſo zieht er ſich nicht ganz in ſeinen frühern Raum zurück; wird er aber während der Spannung erwärmt, ſo werden die Dimenſionen, die er früher nur im geſpannten Zuſtande hatte, zu ſeinen natürlichen. Gebogene Metalle behalten die Biegung, wenn ſie erwärmt werden. Glasfäden werden durch ein heißes Eiſen wie Haar gekräuſelt. Bei den organiſchen Producten wird dadurch bloß die Feuchtigkeit vertrieben, und mit ihr kehrt auch die frühere Geſtalt zurück. Bei Glas und Draht iſt die Veränderung bleibend.

§. 71. Quantitativ genaue Beſtimmungen über dieſe durch äußere Kräfte verurſachte bleibende Veränderung giebt es nur wenige, die auch größtentheils bloß beiläufig angeſtellt, und nicht die für unſern Zweck erforderliche Genauigkeit haben. Ich habe ſie jedoch ebenfalls berechnet und hebe einige aus ihnen heraus, die für die Wiſſenſchaft ein intereſſantes Reſultat verſprechen.

§. 72. Corioli wollte unterſuchen, ob es zweckmäßig ſei, ſich zur Beſtimmung großer Gewichte des Bleies, das man damit belaſtete, zu bedienen (Ann. Ch. Ph. 1830. XLIV. p. 103). Seine Beicylinder waren gegoſſen, wogen 100 Gramme, und waren 19 Millim. hoch, 24 dick. Er giebt nur die unmittelbare Beobachtung. Ich habe ſie ſo berechnet, daß die zweite Columne die Verminderung der Höhe unter den angegebenen Umſtänden bedeutet, die Höhe = 1 geſetzt.

321 Atmoſph.		418 Atmoſph.	
5 Sec.	0,256	30 Sec.	0,463
20	268	45	513
40	269	60	526
60	287	75	528
75	290	90	531
		120	540

377 Atmosph.		418 Atmosph.	
1 Min.	0,534	1 Min.	0,478
1 St.	640	16 Min.	560
24 St.	672		

Die absoluten Lasten waren 1500, 1950, 1760 und 1950 Kilogramme.

Also ist der Eindruck in den ersten Secunden am stärksten, und schon nach einer Minute sehr schwach geworden. Aber ganz vollendet ist er nach einer Stunde und vielleicht nach einem Tage nicht.

Ferner fand Corioli, daß es für die Größe der Wirkung ziemlich gleichbedeutend war, ob man das Gewicht 2 Minuten hinter einander oder acht mal immer 1/4 Minute liegen ließ, ein Beweis, daß das Moment des Auflegens, wenn es sehr behutsam geschieht, ohne Einfluß ist.

Um über den relativen Einfluß verschiedener Gewichte entscheiden zu können, müßten die Bleistücke ganz gleichförmig sein, und das war bei Corioli nicht der Fall. Man ersieht bloß, daß der Eindruck gleichzeitig mit der Belastung steigt, aber in einem weit kleinern Verhältnisse.

Um zur Berechnung taugliche Resultate zu erlangen, müßten die Versuche nicht nur zahlreich genug sein, daß die Unregelmäßigkeiten in den Medien verschwinden, sondern auch das Verhältniß zwischen dem Querschnitte des Cylinders und dem drückenden Gewichte angeben; denn nach einer Belastung von wenigen Secunden ist der Querschnitt auf das Doppelte gestiegen und also schon deßhalb einer stärkern Reaction fähig. Die Geschwindigkeit, mit der die bleibende Veränderung sich ihrem Maximum nähert, macht das Blei zur Beantwortung mehrerer Fragen mehr geeignet als Metall oder Holz, wo Monate nnd Jahre darüber hingehen.

§. 73. Vicat (Pogg. Annal. 1834. XXXI. p. 109.) hing an Eisendrähte, die von einem Gewicht von 43 1/4 Kilogramme = A zerrissen wurden, geringere Gewichte und beobachtete die Verlängerung nach 1 und nach 2 Jahren. Die Länge ist nicht angegeben, vielleicht 1 Meter. Die bleibende Verlängerung betrug

bei einer Belastung von	1/4 A	1/2 A	1/2 A	3/4 A
nach 1 Jahr	0,30	1,40	1,95	3,15
nach 2 Jahren	0,30	2,75	4,09	6,18

Den ersten Draht, der beinahe constant geblieben war, ausgenommen, war der Verlängerung im zweiten Jahre der im ersten beinahe gleich, und die Belastung nahe proportional der angewendeten Kraft. Sie hätte daher wahrscheinlich noch eine Zeit lang fortgedauert. Im dritten Jahre riß der vierte Draht, aber er hatte einen Fehler. Vermuthlich hatte Vicat die anfängliche Länge erst einige Zeit nach dem Aufhängen des Gewichts bestimmt. Sonst würde er wol im ersten Jahre eine beträchtlich stärkere Verlängerung gefunden haben.

Bei der Untersuchung von Metall bedient man sich am besten der Transversalbiegung. Vergleichende Beobachtungen der bleibenden Veränderung bei Torsion, Längen- und Querspannung in Stäben und Drähten sind nicht schwer zu machen, und würden von vielem Interesse sein.

§. 74. Eytelwein hat an einigen der Holzarten, deren Elastitität und Haltbarkeit er bestimmte, auch die Biegung während vieler Monate von Zeit zu Zeit beobachtet. Da nicht zu erwarten ist, daß sich Jemand einer ähnlichen langwierigen Arbeit mit gleicher Sorgfalt und Ausdauer so bald unterziehen werde, so gebe ich hier mehrere seiner Versuche auf folgende Weise berechnet:

Die in der Tabelle neben Last stehende Zahl ist das an der Mitte des an den Enden lose aufliegenden Holzstabes angehängte Gewicht, wobei das zum Zerbrechen nöthige Gewicht $= 1$ gesetzt ist. Wo dieses nicht unmittelbar angegeben ist, habe ich es aus andren Beobachtungen berechnet.

Die erste Rubrik ist die seit dem Auflegen verflossene Zeit in Stunden. Die zweite Rubrik ist die bleibende Biegung der Mitte; ich fand sie, indem ich die von Eytelwein beobachtete totale Biegung durch die von der Elasticität allein herrührende dividirte und 1 abzog. Die dritte Rubrik endlich ist die Stundenzahl, in welcher die Mitte, wenn die Senkung mit der zu einer gewissen Zeit statt findenden Geschwindigkeit gleichförmig fortschritte, eine der vorübergehenden gleiche, aber bleibende Senkung erlangen würde. Ich habe sie unmittellar aus Eytelweins Angabe berechnet, während ich hier nur einige den Gang der Veränderung bezeichnende Beobachtungen hervorgehoben habe. Man würde also für die Geschwindigkeit keine richtigen Angaben finden; wenn man sie aus den beiden ersten Rubriken meiner Tabellen ableiten wollte. Wegen

der unvermeidlichen, aber großen Beobachtungsfehler habe ich s. v. m. runde Zahlen gegeben.

Eytelwein giebt, selbst im Anfange der Belastung, nur Intervalle von mindestens 0,25 St. an. Bei dem Blei würde die bleibende Veränderung dann schon größtentheils vollendet sein. Indessen zeigen die Beobachtungen der Elasticität beim Abheben der Gewichte und andre Umstände, daß die Aenderung bei dem Holze weit langsamer fortschreitet, als bei dem Blei und die von mir angegebenen Senkungen den gesammten bleibenden nicht beträchtlich nachstehen.

§. 75. Versuche über den Einfluß der Zeit.

Kiefer. Sp. Gew. = 0,628. Last = 0,26. (Seite 355).

0,25 St.	0,05	5 St.	192 St.	0,40	1440 St.
0,5	08	9	336	45	2700
2	12	38	600	51	5500
6	16	79	960	57	7300
12	18	230	1272	61	11009
35	25	420	2040	63	360000
59	28	570	4224	63	∞
96	33	910			

Also erst nach 70 — 80 Tagen oder noch später hörte die merkliche Senkung auf. Die Hälfte war bereits am vierten Tage erreicht.

Kiefer. Sp. Gew. = 0,595. Last = 0,38 (S. 338).

0,25 St.	0,03	11 St.	1562 St.	1,00	2530 St.
0,5	04	19	1746	30	700
4	11	63	2348	60	2280
10	16	240	2994	80	2470
17	19	250	3840	2,10	3300
43	27	420	4471	20	5540
65	30	490	4802	30	6290
103	38	720	6404	37	19800
152	43	930	7016	38	33800
242	47	1710	8192	39	21000
293	50	970	9392	39	∞
896	80	2300			

Ueber die großen Unregelmäßigkeiten darf man sich bei einem von atmosphärischen Verhältnissen abhängigen und so ungleichförmig

constituirten Körper nicht wundern. Die Veränderungen sind im Ganzen fast 4mal so groß, nehmen schnell zu und erreichen dem Anscheine nach ihr Maximum später als in dem ersten Beispiele.

Steineiche. Sp. Gew. 0,747. Last 0,47 (S. 351).

0,5	St.	0,30	1,7 St.	33	St.	0,95	133 St.
1		49	2,7	51		1,06	200
2		54	17	90		1,20	330
10		72	58				

Weißtanne. Sp. Gew. 0,424. Last 0,72 (S. 355).

0,25	St.	0,04	6 St.	165	St.	0,33	1220 St.
1		07	26	237		37	2500
10		13	180	309		39	5000
32		17	620	465		42	6200
117		28	830				

Diese beiden Versuche wurden abgebrochen, offenbar lange, ehe das Maximum der Biegung erreicht war. Bei der Steineiche nahm die Biegung sehr rasch zu, bei der Tanne dagegen, trotz der sehr starken Belastung, nicht stärker als bei der Kiefer, die nur 0,26 trug.

Alle diese Reihen sind zu unregelmäßig, um einer Rechnung als Basis dienen zu können, indessen nimmt die Geschwindigkeit, mit der sich die Mitte senkt, überall mit der Dauer der Belastung zu und das Verhältniß der Zahlen der ersten und letzten Rubrik oscillirt um eine constante Größe; die Biegung selbst wird daher eine Exponentialfunction der Dauer sein. Die beste Methode, um dieses zu finden, ist, einen Körper, wie Eytelwein es that, durch eine Last zu dehnen oder zu biegen, oder zu drücken, so daß die Ursache, nämlich die Veränderung, welche die Elasticität hervorbringt, die Einheit in unserer Tabelle, constant bleibt.

§. 76. In den beiden folgenden Versuchen wurde die Last, nachdem sie eine Zeitlang gewirkt hatte, vermehrt.

Kiefer. Sp. Gew. = 0,657. Last = 0,26 (S. 329).

0,25	St.	0,14	2,4 St.	10	St.	0,70	60 St.
1		36	4,1	16		75	120
2		47	8,3	27		81	180
5		60	24	32		83	250
7		64	41				

Last = 0,55.

0,25 St.	0,47	3 St.	7 St.	0,58	230 St.
1	50	30	20	65	200
4	56	51			

Sommereiche. Sp. Gew. = 0,719. Last = 0,23 (S. 311).

0,25 St.	0,28	3	15 St.	0,27	48 St.
1	22	5	40	30	84
7	25	18			

Last = 0,41.

0,5 St.	0,07	7	26 St.	0,21	540 St.
5	13	102	50	24	820
14	18	200			

Die Kiefer, obgleich der im §. 75 gleich belastet, erleidet hier weit stärkere Veränderungen, die auch ihr Maximum lang noch nicht erreicht haben, als das zweite Gewicht aufgelegt wurde. Die Bewegungen werden dadurch verhältnißmäßig kleiner und langsamer, weil die Einheit, auf die sie bezogen werden, größer ist. Dieses ist auch in der Sommereiche der Fall. Die anfängliche Geschwindigkeit der Bewegung ist dagegen in den zweiten Stadien größer, als sie sein würde, wenn man die erste Belastung bis zu ihrem Maximum hätte wirken lassen.

§. 77. Ueber die bleibende Veränderung, welche verschiedene Kräfte hervorbringen, hat Gerstner (Handb. der Mechanik I. p. 262, 339) viele Versuche angestellt. Er belastete Drähte, Holz-Stab- und Gußeisen verschiedener Art, longitudinal und transversal mit einem Gewichte, = a, das $^1/_{10}$—$^1/_{20}$ von der zum Zerbrechen nöthigen Kraft betrug, und beobachtete die dadurch entstehende Aenderung. Dann legte er wieder ein Gewicht a auf, dann ein drittes a u. s. f., bis der Körper zerbrach, und beobachtete jedesmal die Verlängerung oder die Biegung. Diese bestand immer aus zwei Theilen, einem constanten, oder mit der Nummer des Gewichtes sehr wenig zunehmenden, und einem zweiten, der die bleibende Aenderung bezeichnete. Diese war anfangs = 0, nahm späterhin zu, so daß die Differenz der Aenderungen, die das Auflegen eines neuen Gewichtes a hervorachte, besonders in der Nähe des Zerbrechens rasch stieg. Leider ist hierbei ein sehr wichtiges Moment, die Zeit, nicht berücksichtigt; es ist nicht gesagt, daß die Zeit-Intervalle beim Auflegen neuer Gewichte groß genug waren, um ein Gewicht

seine Wirkung vollständig äußern zu lassen, und so ist es wahrscheinlich, daß dem nten Gewichte ein Theil der Wirkung zugeschrieben wurde, die dem n—1ten zukam. Dasselbe gilt von Versuchen, die andre angestellt haben. Bei Eytelwein, der, wenn er auch nicht das Maximum abwarten konnte, ihm doch weit näher kam, als die übrigen Beobachter, findet, die dem Reißen unmittelbar vorangehende Zeit ausgenommen, diese Zunahme in der bleibenden Aenderung keinesweges so allgemein statt, z. B. nicht in der Sommereiche. Indessen scheint doch in der Regel z. B. das 100ste Kilogr. die bleibende Aenderung mehr als das 50ste zu vermehren.

§. 78. In den folgenden Versuchen von Eytelwein reichte die Last zum Zerbrechen hin. Sie war also immer = 1, oder größer als 1, da es wahrscheinlich ist, daß auch schon etwas kleinere Gewichte bei längerer Thätigkeit den Stab zerbrochen hätten.

Steineiche. Spec. Gew. = 0,726 (S. 350).

0,25	St.	0,10	2,5	St.	16 St.	0,43	80 St.
0,5		13	8		30	47	120
1		17	13		55	69	330
4		28	27		63	78	80 Bruch.

Erle. Sp. Gew. = 0,572 (S. 360).

0,25	St.	0,12	2	St.	4 St.	0,27	44 St.
0,5		15	8		8	32	72
1		19	13		14	42	60
2		22	28		21	64	32 Bruch.

Sommereiche. Sp. Gew. = 0,620 (S. 347).

0,25	St.	0,50	0,5		8 St.	1,37	35 St.
0,5		82	0,8		24	65	58
1		1,05	2		24,5	68	13
2		16	9		25	72	10
4		26	20		25,5	75	Bruch.

Diese Versuche stimmen sämmtlich darin mit einander überein, daß die bleibende Biegung bei ihnen anfangs denselben Gesetzen folgt, wie bei kleinern Belastungen. Sie ist sogar zuweilen noch langsamer als dort. Aber statt bis in's Unendliche abzunehmen, hat die Geschwindigkeit ein Maximum und nimmt von da bis zur Zeit des Bruches wieder schnell zu. Bei fast allen Versuchen Eytelwein's

tritt dieses Maximum in einer im Verhältniß zur ganzen Dauer des Versuches kurzen Zeit vor dem Zerbrechen ein.

§. 79. Durch dieses spätere Eintreten des Zerbrechens wird die Beobachtung über die Größe der dazu nöthigen Belastung sehr erschwert; denn man hat bei dem Anfange des Versuches gar kein Mittel, das zum Brechen eben hinreichende Gewicht von einem weit größern zu unterscheiden. Ja es ist möglich, daß das kleinste der die Brechung hervorbringenden Gewichte erst in sehr langer, ja unendlicher Zeit wirke. Diese Gewichte sind also Functionen der Zeit, je größer diese ist, desto kleiner können jene sein, und wenn es möglich wäre, ein Gewicht nur eine unendlich kleine Zeit wirken zu lassen, so würde es, so groß es auch sein mag, keine bleibende Wirkung zurücklassen. Man darf sich jedoch durch diese Betrachtungen nicht verleiten lassen, jedes Gewicht, wenn es nur hinlänglich lange wirkt, für hinreichend zum Zerbrechen zu halten; denn obgleich die bleibenden Veränderungen eine unendliche Zeit fortwachsen, so ist es dennoch sehr wahrscheinlich, daß die Summe dieser Aenderungen eine endliche Größe ist, und nur da Brechen eintritt, wo diese Größe den Körper bis zu irgend einem von seiner Beschaffenheit abhängigen Puncte, die Grenze seiner Elasticität (Siehe Elasticität §. 1), gebogen hat. Schon Buffon fand, daß Holz, das eine Last von 4500 Kilogramm einen Tag lang ohne Nachtheil getragen hatte, bei 3000 Kilogr. nach 6 Monaten zerbrach, die Hälfte der ersten Belastung aber ganz ohne Nachtheil tragen konnte. Dasselbe ergiebt sich auch aus Eytelwein's u. A. Versuchen.

Die Geschwindigkeit, mit der die bleibenden Aenderungen eintreten können, ist bei vielen technischen Fragen, z. B. bei einem Vergleichung der Hammer- und Walzwerke von großer Wichtigkeit.

Innere Bewegungen in Körpern, die durch äußere Kräfte bleibend geändert sind.

§. 80. Diese Modificationen bestehen nicht bloß in den Dimensionen, sondern das Vermögen, gegen äußere Kräfte zu reagiren, wird ebenfalls verändert. Wenn ein mit einem Gewichte belasteter Blei-Cylinder, nachdem er etwa auf die Hälfte seiner Höhe zusammengedrückt war, sich nicht weiter zusammenzieht, so kann dieses offenbar nicht bloß von der Vergrößerung des Querschnittes herrühren. Wenn ein Draht mit einem Gewicht belastet sich ausdehnt, so wird das specifische Gewicht auf keine merkliche Weise

verändert, der Querschnitt also kleiner und der Draht müßte jetzt weniger im Stande sein das Gewicht zu tragen, wie früher, wenn er nicht, wie in dem ersten Beispiel das Bleistück, in dem Vermögen zu tragen gewonnen hätte. Dasselbe ist der Fall, wie die äußere Kraft auch wirken mag. Wir können daher als Gesetz aufstellen, daß so lange die bleibende Veränderung eine gewisse Grenze nicht überschreitet, die äußern Kräfte in dem Körper eine solche mit der Dauer ihrer Thätigkeit zunehmende Veränderung hervorbringen, daß *er ähnlich wirkenden äußern Kräften einen größern Widerstand entgegenstellen kann wie früher.* Ein durch Gewichte gespannter Draht bedarf eines größern Zuggewichtes, ein gebogener Stab einer stärkern biegenden Last als früher, um bleibend verändert zu werden. Eben so bei Druck- oder Torsionskräften unterworfenen Körpern. Bei anders wirkenden äußeren Kräften ist dagegen, wie wir sehen werden, der Erfolg ein ganz anderer. Die Aenderung, welche wir im Gegensatz zu den vorübergehenden, welche die fremden Gewichte unmittelbar hervorgebracht haben, *bleibend* genannt haben, ist dieses jedoch nur in beschränktem Sinne. Ueberläßt man einen solchen Körper sich selbst ohne Belastung, so verliert er einen Theil der bleibenden Aenderung wieder. Wir wollen sie daher *elementar* nennen. Ueber den Zustand, in dem sich solche Körper befinden, geben uns Versuche von Eytelwein und Weber einigen Aufschluß.

§. 81. *Eytelwein* nahm von einigen Stäben, deren *elementare* Krümmung er beobachtet hatte, das Gewicht ab. Sie verloren die nur der Spannung angehörigen Biegung *sogleich*; aber dann zogen sie sich noch weiter zurück und näherten sich dem Zustande, den sie vor der Belastung hatten. Die folgenden Tabellen sind eben so berechnet wie die des §. 75. Als Einheit der elementaren Biegungen ist die durch die frühere Belastung hervorgebrachte, vorübergehende Biegung angenommen.

Kiefer. Sp. Gew. = 0,628 (S. 335).

Last 0,21. Bleibende Aenderung nach 4200 St. = 0,63.

0,25	St.	0,08	4	St.	120 St.	0,17	7500
1		12	15		672	18	42000
4		14	114		2132	18	∞
21		16	1300				

Es blieb also noch 0,45 an bleibender Biegung übrig.

Kiefer. Sp. Gew. = 0,657.

Laſt = 0,55. Bleibende Aenderung in 156 St. = 0,66.

Die Zeit, auf die ſich die dritte Spalte bezieht, beginnt erſt, nachdem der Stab während des Entlaſtens 0,08 zurückgegangen war. Dieſe Größe iſt jedoch in den Zahlen der mittlern Spalte einbegriffen.

0,25 St.	012	6 St.	44 St.	0,26	800 St.
1	19	10	92	29	1500
2	20	60	140	30	6000
6	21	500	908	30	∞

Es iſt alſo nur noch 0,36 an Biegung übrig geblieben.

Ein Stab Sommereiche (S. 341), der mit 0,23 ſeines Brechgewichts während 40 Stunden und mit 0,40 deſſelben noch 50 Stunden belaſtet war, hatte, nachdem alle Gewichte abgenommen waren, eine elementare Biegung von etwa 0,20 von der dem größern Gewichte angehörigen Elaſticitäts-Aenderung beibehalten, indem der übrige Theil der elementaren Veränderung, die im Ganzen etwa 0,42 betrug, ſchon während der nach und nach erfolgenden Abnahme der Gewichte verloren gegangen war. Aber auch dieſe 0,20 gingen binnen 1077 Stunden bis auf 0,02 verloren. Nach 1797 Stunden hatte ſich dieſe Aenderung erhalten, ſo daß der Stab ſeine frühere Stellung bis auf eine Kleinigkeit wieder erlangt hatte. Bei den zwei ausführlich mitgetheilten Beiſpielen war dagegen 0,45 und 0,36 übrig geblieben. Aber hier hatte auch die Belaſtung viele Tage gewährt und das Maximum ihre Wirkung hervorgebracht, während ihre Dauer bei der Sommreiche nur 90 Stunden betrug, was bei der erſten Kiefer (des §. 75) nur etwa zu $^1/_2$, bei der zweiten Kiefer aber nur zu $^1/_{15}$ der ganzen elementaren Wirkung hinreichte.

§. 82. Aehnliche Verſuche wie Eytelwein hat W. Weber (Götting. Anzeigen 1835 Jan. 17. p. 65) am geſpannten Coconfaden angeſtellt. Durch ein dehnendes Gewicht wurde der Faden erſt elaſtiſch, dann elementar verlängert, und als man das Gewicht verminderte, wurde der Faden ſogleich um eine ſeiner Spannkraft entſprechende Größe kürzer und zog ſich dann allmälig zuſammen, indem die durch das größere Gewicht erlangte elementare Bewegung zum Theil verloren ging. Der Faden ſpannte ſich

dabei sogar etwas stärker als am Anfange seiner rückgängigen Bewegung, indem in Folge seiner Verkürzung das früher schief wirkende Gewicht in eine mehr directe Richtung gebracht wurde. Die Geschwindigkeit der Bewegung ist ebenfalls beinahe der Zeit verkehrt proportional. Weber spricht das Gesetz so aus: „der Rest der Verlängerung oder Verkürzung, die von irgend einem Augenblicke an noch zu erwarten ist, ist der bis zu diesem Augenblicke verflossenen, von einem bestimmten Momente an zu rechnenden Zeit umgekehrt proportional.“ Die Seide ist als ein Körper von geringer Spannkraft und großer elementarer Beweglichkeit zu diesen Versuchen sehr geeignet. Weber's Beobachtungsweise ist die beste, welche man bei diesen feinen Elasticitäts- und Cohärenz-Beobachtungen bis jetzt angewendet hat: man darf sich daher von der vollständigen Bekanntmachung seiner Arbeit, von der bloß ein kurzer Auszug erschienen ist, viel versprechen.

§. 83. Von diesen Elementarbewegungen sind viele Erscheinungen in dem Körper abhängig. Wenn eine Feder hin und her schwingt, oder ein Faden von Seide oder von Metall unten mit einem Gewichte beschwert, nach Art der Fäden in Coulomb's Torsions-Apparate oscillirt, so nehmen die Amplituden so schnell ab, daß man sie nicht durch den Widerstand der Luft, auch nicht durch die Reibung der beweglichen und der festen Theile des Apparats an einander erklären kann, da sie bei andern nur durch ihre Schwere pendelartig schwingenden Körpern bei weitem nicht so nachtheilig wirken. Coulomb (Mém. de l'Acad. 1784. p. 256) beobachtete bei einigen Drähten die Anzahl der Schwingungen, durch welche die Amplitude um 10° abnahm und fand folgende Resultate:

Belastung ungefähr 1 Kilogramm;
Länge „ 186 Millim.

Amplit.	Eisendrähte.		Messingdrähte.		
360°	—	—	1	—	2,5
180	—	3,5	2	2	6
90	3,5	12	5	6	13
45	10,5	27	11	16	31
22½	23	54	25	40	72
11¼	46	—	—	80	—

Bei kleinen Amplituden war ihnen die Zahl der Schwingungen umgekehrt proportional, bei größeren nahm der Verluſt in ſtärkerm Verhältniſſe zu. Die Urſache liegt unſtreitig in den bleibenden Aenderungen. Der nach der einen Seite, wir wollen ſie *poſitiv* nennen, um 90° gewendete Draht erleidet eine Elementarbewegung nach derſelben Richtung. Geſetzt ſie betrage 1°, ſo geht das Centrum nach + 1°. Schwingt nun der Draht zurück, ſo wird er ſtatt nach — 90 nur nach — 88 gelangen und das Centrum wieder ungefähr nach 0°. So wird das Centrum, dem Drahte ſelbſt folgend, hin und her oscilliren, und wenn man die elementare Bewegung zwiſchen 90 und 80° als conſtant anſieht, ſo wird nach 5 einfachen Oscillationen die Amplitude um 10° vermindert ſein.

§. 84. Die Intenſität des *Tones* hängt von der Dauer und der Weite der Schwingungen ab, und wo dieſe etwa durch Anſtoßen an einen weichen Körper oder durch andre Gründe ſchnell an Amplitude verlieren, iſt auch kein deutlicher Ton hörbar, indem die Schwingungen für das Gehör eine zu geringe Intenſität haben. Daher geben Körper, bei denen dieſe Elementarbewegungen ſehr ſchnell und kräftig eintreten, wie Blei (§. 72), keinen deutlichen Ton, d. h. ſie *klingen* nicht. Eben ſo verhält es ſich mit andren Metallen und mit Holz, ſo lange ſie nicht durch die Bearbeitung in eine ſolche Lage verſetzt ſind, daß ſie keine elementare Bewegung mehr annehmen. Daher rührt es auch wol, daß mit Amalgam überzogene Münzen keinen deutlichen Klang mehr geben. Die Schallwellen werden hier eben ſo bald zerſtört, wie die Wellen des Waſſers durch Oel.

§. 85. Was man in den oben angegebenen Beiſpielen durch äußere Gewalt hervorbringt, entſteht zuweilen durch die Bereitungsart von ſelbſt, beſonders durch eine Temperatur-Veränderung.

Egen, der alle mit der Conſtruction der Thermometer verbundenen Umſtände mit großer Sorgfalt unterſucht hat (ſiehe §. 60), entdeckte eine vor ihm unbekannte und die Zuverläſſigkeit des Thermometers bei Unterſchieden von 0,1 Graden ſehr beeinträchtigende Erſcheinung. Wenn nämlich die Kugel bis 90 oder 100° C. erwärmt und dann wieder abgekühlt wird, ſo hat das Glas, wie jeder ſich ſchnell abkühlende, ſchlecht leitende Körper einen etwas geſpannten Zuſtand angenommen, demjenigen ähnlich, der in den Springgläſern (§. 19) ſo ſtark entwickelt iſt, und das Queckſilber

ſteht einige Hunderttheile zu niedrig. Wie in einem durch äußere Urſachen geſpannten Körper entſteht aber nun in dem Glaſe eine Elementarbewegung, die 1—3 Tage anhält und allmälig den frühern Stand zurückführt. Dieſe Variation iſt alſo ſehr verſchieden von der oben (§. 69) betrachteten, welche von dem Drucke der Luft herrührt. Sie iſt bei offnen Thermometern nicht kleiner als bei geſchloſſenen, ſcheint aber bei dickerem Glaſe ſtärker zu ſein.

Erwärmte Metallſtäbe kühlen ſich zwar ſchnell ab, aber es währt lange, ehe ſie in allen Beziehungen ihren frühern Zuſtand wieder erlangt haben. Metallthermometer ſind daher unzuverläſſige Inſtrumente. Stimmgabeln, die mit der Hand erwärmt wurden, haben nach ½—1 Stunde jede für das Thermometer kenntliche Wärme verloren. Aber es dauert 1—2 Tage, ehe ſie ihren frühern Ton vollſtändig wieder erlangen. Es ſcheint dabei, daß eine Erſchütterung des Metalles die Rückkehr des normalen Zuſtandes zuweilen erleichtert. Fuhrleute ſchlagen an die Felgen ihrer Räder, um ſie in großer Kälte vor Zerſpringen zu ſchützen. Lavoiſier und Laplace erleichterten durch kleine Erſchütterungen die Ausdehnung der Metalle in ihren bekannten Verſuchen über die Wärme. Man könnte an einen ähnlichen Einfluß bei dem Magnetismus erinnern. Aber wahrſcheinlich iſt es hier nur die Reibung des Metalls an Holz und Stein, welche durch dieſe Erſchütterungen vermindert wird.

§. 86. Einige Bewegungen im Innern der Körper ſind vermuthlich auf dieſelben Urſachen zurückzuführen, wie die eben betrachteten Elementarbewegungen. Nach Savart (Ann. Ch. Ph. 1819. XII. p. 74) erlangt der Ton einer Schwefelplatte erſt 1—2 Monate nach dem Guſſe ſeine definitive Höhe und Reinheit; anfangs iſt er dumpf und wol einen ganzen Ton tiefer. Bei dem Schwefel könnte dieſes wol von ſeiner iſomeren Beſchaffenheit herrühren; aber Savart hat ähnliche Beobachtungen auch an mehreren andren Kärpern gemacht.

Brewſter (Phil. Trans. 1815. p. 29), der einige zwiſchen zwei Glasplatten gebildete Platten von weicher Subſtanz in dem polariſirten Lichte unterſuchte, fand, daß geſchmolzener Talg erſt nach 6 Tagen ſein definitives Gefüge angenommen hatte, Kautſchuk erſt nach 5—6 Wochen und ſo andre Stoffe. Nach dieſer Zeit hatte zwar die Bewegung ſchwerlich ganz aufgehört, aber jene Beobachtungsweiſe nicht mehr empfindlich genug.

Nach den Erfahrungen einiger engliſchen Stahlarbeiter iſt mit Roſt bedeckter Stahl zu manchen Stahlarbeiten viel brauchbarer als andrer. (Lond. Edinb. J. of Sc. 1833 I. p. 75). Die Urſache iſt wahrſcheinlich nicht im Roſten ſelbſt, ſondern ebenfalls in einer innern, das Gefüge gleichförmiger machenden Bewegung zu ſuchen. Ob Holz die große Härte, die es zuweilen durch langes Liegen im Waſſer oder in der Erde erhält, einer ähnlichen Urſache verdankt, läßt ſich, da genaue Beobachtungen fehlen, nicht entſcheiden. Zu einer galvaniſchen Action, die man auch hier vermuthete, fehlen aber alle Bedingungen.

M. Meyer (Erdmann Journ. 1831. X. p. 3) giebt einige Beiſpiele von Geſchützen, die einer ſehr ſtarken Probe widerſtanden und ſpäter bei leichten Ladungen ſprangen. Zwei Zwölfpfünder blieben unbeſchädigt, nachdem man aus jedem 3000 Schüſſe gethan hatte. Nach drei Jahren Ruhe ſprangen ſie bei dem 3ten und 5ten Schuß. Vermuthlich hatten ſie während dieſer Zeit, vielleicht in Folge der Erſchütterung und der Erwärmung bei den Proben, eine Elementarbewegung erlitten, die ſie minder cohärent machte.

Daß Spalten im Glaſe ſich in Folge von Temperatur-Veränderung erweitern oder zuſammenziehen, daß Glastropfen zuweilen ohne ſichtbare Urſache Monate nach ihrer Verfertigung ſpringen, kann ebenfalls keine andre Urſache haben.

§. 87. Die Wärme beſchleunigt alle dieſe Proceſſe. Wenn man einen durch fremde Kräfte gebogenen Metallſtab glüht, ſo wird ſeine Biegung bleibend. Kautſchuk behält ſeine Form, wenn er während der Spannung auf etwa 100° erwärmt wird.

Die abnormen Körper können ſämmtlich durch eine mehr oder weniger hohe, aber den Schmelzpunct lange nicht erreichende Temperatur normaler gemacht werden. Die Springgläſer werden dadurch zu gewöhnlichem Glaſe. Alle durch Bearbeitung oder durch ſchnelle Abkühlung in ihrem Gefüge veränderten Metalle erlangen durch eine Erwärmung, welche die Glühhitze lange nicht zu erreichen braucht, ein gleichmäßigeres Gefüge. Beſonders am Stahl hat man viele Verſuche darüber angeſtellt, und ſowohl die Temperatur des Erhitzens, als die des Abkühlens oder des ſpäter vorgenommenen ſchwächern Erwärmens mannigfach abgeändert, um dem Stahl ein zu gewiſſem Zwecke taugliches Gefüge zu verſchaffen. Man hat dabei auf viele Handgriffe, die zum Erfolge ſchwerlich et-

was beitragen, z. B. die Beschaffenheit der Ablöschflüssigkeit, viel Werth gelegt; dagegen finde ich nicht, daß man auf einen sehr wesentlichen Umstand, nämlich die Dauer des Verweilens in einer höhern Temperatur, die nöthige Rücksicht genommen hätte *).

Rückblick auf die Elementarbewegung.

Ursache der Elementarbewegungen.

§. 88. Alle diese Bewegungen, so verschiedenartig sie sind, führen sämmtlich das Gefüge einem höhern Grade von Gleichförmigkeit zu. Ein gespannter und in der Spannung befestigter Draht behält seine Länge bei, aber er verliert einen Theil seiner Spannung. Ein Glas-, Thon- oder Metallstück, das schnell abgekühlt, ein größeres Volumen hat, wie bei langsamem Abkühlen, nähert sich allmälig seinem normalen Zustande. Lockere Haufen vereinigen sich zu Aggregaten, deren Theile zusammenhangen; Aggregate ziehen sich in kleinere Räume zusammen und werden, selbst ehe sie schmelzen, zu gleichförmigeren Massen. Gläser nehmen Spuren von krystallinischem Gefüge an und in Metallen und einigen Erdensalzen bilden sich deutliche Krystalle aus. Die Höhe der Temperatur und die Länge der Zeit begünstigen diese Processe; aber was in der Glühhitze und im Verlauf vieler Tage sehr deutlich wird, findet sich zuweilen auch in gewöhnlicher Temperatur und binnen kurzer Zeit vor.

Den langen Weg von scheinbarer Amorphie, oder dem Nebeneinanderliegen einzelner Körner bis zu der normalen stetigen Krystallisation legt selten ein Körper ganz zurück. Viele werden nur auf einem sehr kleinen Theile derselben beobachtet. Aber Glas als

*) Einige Beispiele von dem, was ich Elementarbewegung genannt habe, wie die Bewegungen in Metallen, die erst nach einiger Zeit ihre Ruhe erlangen, hat Bellani Brugn. Giorn. 1823 zusammengestellt. Paoli's Werk Ricerche sul moto moleculare dei solidi 350 S. 8. 1825 kenne ich nur aus Feruss. Bullet. mathem. 1826. V. p. 35. Nach diesem Auszuge enthält es gar keine neuen Thatsachen, sondern nur eine Theorie, deren Basis ist, daß die drei Aggregatzustände stetig in einander übergehen, und die Bewegungen, die in den Flüssigen so stark sind, daher auch in den festen Körpern nicht ganz aufhören. Von Krystallisation ist nicht die Rede. Der Tadel des Berichterstatters, daß Paoli langsam oscillatorische Bewegungen mit den nach einem Ziele hin tendirenden verwechselt habe, ist jedoch ungegründet.

Glastropfen von dem Kryſtalliniſchen zwiefach entfernt, durch die Amorphie und die Abnormität, wird allmälig zu einem Aggregate ziemlich deutlicher Kryſtallnadeln. Glashartes, abnormes Kohleneiſen geht zwar nicht ſo weit in die Amorphie hinauf als Glas, da das körnige Gefüge gewöhnlich ſichtbar iſt, aber bei ſehr langſamer Abkühlung bilden ſich in ihnen die Kryſtalle deutlicher aus.

§. 89. Die Elementarbewegungen haben ſämmtlich dieſelben Kräfte im Innern der Körper zu bekämpfen, folgen dabei alle in Beziehung auf Zeit und Temperatur denſelben Geſetzen, ſtreben nach einem Ziele hin und dieſes Ziel iſt die Kryſtalliſation. Von allen iſt daher wahrſcheinlich dieſelbe Kraft die Urſache, nämlich das Streben der Körpertheile, ſich in ein Ganzes von regelmäßiger Structur zu ordnen. Die Urſache der Elementarbewegung iſt daher die Kryſtalliſationskraft (ſiehe Kryſtallkunde §. 120).

§. 90. Bei Flüſſigkeiten iſt keine Kryſtalliſationskraft. An ihrer Stelle ſteht das Streben der Theile, eine Dichtigkeit zu erlangen, die nach allen Seiten hin gleich und von gewiſſer Größe iſt. Abnormität iſt daher nur in ſo fern möglich, als an irgend einem Orte eine Abweichung von der normalen Dichtigkeit ſtatt findet, und dieſe wird ſchnell durch Ausdehnung beſeitigt, indem die Theile, die auf einander fortgleiten oder ſich um ihren Schwerpunct bewegen, keine neuen Kräfte anregen. Bei feſten Körpern dagegen iſt die Abnormität verſchiedenartiger. Nicht nur, daß die Dichtigkeit von der normalen abweichen kann; die Theile, atomiſtiſch gedacht, ſtreben nicht nur ſich in einer gewiſſen Entfernung von einander zu halten; ſondern ſie ſuchen ſich auch gewiſſe Seiten zuzuwenden. Wo dieſe Lage ſich nicht findet, führt die Kryſtalliſationskraft die Theile zurück und ſie widerſteht den Kräften, die ſie daraus abzulenken ſtreben. Sie ſind daher in ihrer Bewegung gehemmt und können nicht immer wie die Flüſſigen über einander hingleiten oder ſich drehen, ohne neue Kräfte zu erregen. Nur da, wo alle Theile des Körpers eine Totalbewegung hervorzubringen ſtreben, wo daher kein Hingleiten oder Drehen der Theile nöthig iſt, kann der feſte Körper ſich mit den äußern Kräften ſchnell in Gleichgewicht ſetzen, z. B. wenn ein Gewicht angebracht oder wieder abgenommen wird. In dieſen Fällen iſt die innere Bewegung der Theile der feſten Körper ganz ſo ſchnell als bei den flüſſigen. Auch rein elementare,

durch fremde, mechanische Kräfte nicht veranlaßte Bewegungen geben, wenn diese Bedingungung erfüllt wird, mit großer Schnelligkeit von Statten, z. B. wenn der Körper entsteht, besonders bei isomerischer Umwandlung; ähnlich den chemischen Verbindungen bei schwacher Affinität, welche sich am leichtesten bilden, wenn die Bestandtheile im Entstehen sind.

In der Regel wird aber die Abnormität die Theile eines Körpers weniger gleichmäßig treffend, und das Gleichgewicht nur hergestellt werden können, indem andre Theile mehr oder weniger aus ihrem Verbande gerissen werden. So intensiv nun auch die Kraft zwischen zwei benachbarten, abnorm gewordnen Theilen sein mag, sie wird, theils dadurch geschwächt, daß jeder Theil mit andren in Berührung ist, ohne die er sich nicht bewegen kann, theils indem sie neue Kräfte weckt, nur eine geringe Wirkung in dem Volumen und der Gestalt des gesammten Körpers hervorbringen können und ihn dem Ziele nur langsam nähern.

§. 91. Der Unterschied in der Cohärenz der festen und flüssigen Körper geht also aus dem krystallinischen Gefüge hervor, welches, sobald die Richtungen der Moleculakräfte aufhören parallel zu sein, neue in den Flüssigkeiten fehlenden Kräfte anregt. Diese Kräfte sind um so stärker, je mehr Theile auf gleichartige Weise von ihnen ergriffen werden. Gewöhnlich sind sie aber so unregelmäßig vertheilt und wirken nach so verschiedenen Richtungen, daß die resultirenden Kräfte nur schwach, die Wirkungen sehr langsam sind. Indessen da ein völliges Gleichgewicht der innern Kräfte unendlich unwahrscheinlich ist: so wird die Kraft nach Secunden oder Jahrtausenden ihr Ziel erreichen; der Körper wird gleichförmig, wenn keine äußern Kräfte auf ihn einwirken; oder, wenn diese vorhanden sind, sich in ein gewisses Gleichgewicht gegen sie stellen.

Dieses ist das aus der Gesammtheit sämmtlicher Krystallisationsphänomene und der elementaren Bewegungen, die ich bisher betrachtet habe, hervorgehende Resultat. Ich will nicht verhehlen, daß es keinesweges eine so unbedingte Folge ist, daß keine andre Hypothese möglich wäre. Es bleibt sogar noch manche Lücke übrig, die noch nicht ausgefüllt werden kann; aber dieses ist bei jeder physischen Hypothese der Fall. Für den gegenwärtigen Standpunct der Wissenschaft hat sie die größte Wahrscheinlichkeit für sich, denn viele Erscheinungen sprechen für sie und keine einzige steht ihr entgegen.

Verhältniß der Elementarbewegungen zum Gefüge.

§. 92. Um die Gesetze der Elementarbewegungen genau zu untersuchen, müßte man die Structur der Körper in jeder Stufe der Bewegung messen können. Die Doppelbrechung des Lichtes würde dazu das beste Mittel sein, aber von den Körpern, die hier in Betrachtung kommen, ist nur das Glas durchsichtig, und dieses läßt wegen seiner Sprödigekit nur kleine Veränderungen zu. Die äußern Kräfte reichen selbst in Verbindung mit den andern Merkmalen (§. 6) lange nicht hin, um das Gefüge kennen zu lehren. Dieses enthält viele unbekannte Größen, welche nur durch eine oder wenige von der Lage der äußern Kräfte oder der Befestigung des Körpers abhängige Gleichungen verbunden sind, und können daher auf unendlich verschiedene Weisen gedacht werden. Man kann einen kegelförmigen Theil innerhalb des Körpers um seine Achse drehen, oder die Richtung der Krystallisationskräfte allmälig ändern, ohne daß die auf die Oberfläche sich beziehenden Kräfte und Stellungen eine bemerkliche Veränderung erleiden. Es bleibt daher, um über Bewegungen, die von einer uns unbekannten Structur abhängen, Aufschluß zu erlangen, kein andres Mittel übrig, als die Analogie mit Bewegungen unter bekanntern Verhältnissen.

§. 93. Gesetzt, ein Draht werde durch ein Gewicht der Länge nach gezogen. Er wird sich schnell in dem Querschnitte verengern, länger werden und sich mit der äußern Kraft in Gleichgewicht setzen. Aber dieses ist stets von einer Abnormität begleitet; die Elementarkräfte werden angeregt, die Länge wird bleibend größer, der Querschnitt bleibend kleiner, und wenn das Gewicht dem Reißgewichte nachsteht, wird ein gewisses Gleichgewicht zwischen der an die äußere Kraft gebundenen und mit ihr verschwindenden und der elementaren Abnormität eintreten. Wird das Gewicht nun abgenommen, so verschwindet die erste Abnormität sogleich, die zweite elementare nimmt allmälig ab (§. 82) und der Draht rückt seinem normalen Zustande näher. Die Structur, aus welcher diese zweite Bewegung entspringt, ist ganz unbekannt, aber da sie der früheren, elementaren Bewegung entgegengesetzt ist, so ist auch wahrscheinlich die Abnormität, von der sie herrührt, derjenigen entgegengesetzt, welche in dem Drahte statt fand, als er dem Zuggewichte noch unterworfen war, und wie in einem comprimirten Körper, der ganz

dieſelbe elementare Bewegung erleidet, wird ſie in einer Verdichtung nach der Längenrichtung und eine Verdünnung nach den Querrichtungen beſtehen. Ganz ähnliche Reſultate fand Eytelwein (§. 89) und ähnliches iſt unſtreitig auch bei andren Wirkungsweiſen der äußern Kräfte der Fall; nach der Entfernung der Kraft wird ein Theil der elementaren Bewegung negativ werden und ſich ſo verhalten, als wenn der Körper fortdauernd von einer Kraft geſpannt wäre, welche auf alle Theile eine der früher thätigen Kraft ganz entgegengeſetzte Wirkung hat.

Sobald das Gewicht entfernt iſt, tritt alſo eine Reaction ein. Die Structur-Veränderung, die in dem Körper bleibt, iſt derjenigen entgegengeſetzt, welche das Gewicht während ſeiner Thätigkeit hervorbrachte. Der Ausdruck Reaction wird in der Phyſik und Phyſiologie nicht ſelten gebraucht, um eine Kraft zu bezeichnen, welche das Entgegengeſetzte von dem hervorzubringen ſtrebt, was äußere Kräfte erzeugen. Mit dieſer Reaction iſt diejenige, von der ich vorher geſprochen habe, nicht zu verwechſeln; ſie iſt nicht eine urſprüngliche Kraft, ſondern nur ein Phänomen, ein Product von der Structur, welche ein Körper unter dem Einfluſſe einer überwiegenden äußern Kraft angenommen hat, die mit ihr daher in einem gewiſſen Gleichgewichte ſteht und aufhört, ſobald die Urſache, die ſie erzeugte und aufrecht erhielt, entfernt iſt.

§. 94. Dieſe Reaction hebt auch in den bis jetzt bekannten Beiſpielen die Structur-Veränderungen, welche die äußere Kraft hervorgebracht hat, niemals gänzlich auf und es bleibt im Körper immer noch eine bedeutende bleibende Aenderung zurück, welche zwar auch wieder mit der Zeit verſchwinden würde; aber dieſe Zeit iſt oft ſo lang und der Körper während deſſen ſo viel neuen Angriffen von äußeren Kräften unterworfen, daß man in dem einmal einer fremden Kraft unterworfen geweſenen Körper ohne neue Schmelzung das gleichförmige Gefüge nicht wieder erlangen kann. Beſonders abnorm ſind Metalle, ſie mögen durch Schmelzen oder durch den Hammer oder die Walze oder den Drahtzug ihre gegenwärtige Geſtalt erlangt haben, indem in dem einen Falle die frühere Abkühlung der Oberfläche, in dem andern die mechaniſche Kraft das Gefüge geändert hat. Dieſe Unterſchiede der Structur zeigen ſich zwar nicht in der Spannkraft, deſto mehr aber in den Cohärenzerſcheinungen, welche in

demſelben Körper ſehr verſchieden werden, wenn man ihn in verſchiedenen Richtungen unterſucht.

§. 95. Die wichtigſten von den dazu gehörigen Momenten iſt die zum Zerbrechen des Körpers nöthige Kraft. Das Zerbrechen iſt, ſo oft es beobachtet iſt, in ſeinen Urſachen noch unbekannt. Die Geſammtheit der Umſtände, unter denen es auftritt, ſcheint dahin zu deuten, daß ein Zerbrechen eintritt, ſobald die Theile über ein gewiſſes Maximum von einander entfernt werden, oder was daſſelbe iſt, ſobald die Dichtigkeit in einer Linie ein gewiſſes Minimum überſchreitet. Es tritt alſo nur in Folge einer Dehnung ein, und wenn es auch durch Compreſſion hervorgebracht zu werden ſcheint, ſo iſt dieſes nur mittelbar, indem die Theile ſich in der auf dem Drucke perpendiculären Richtung ausdehnen; daher iſt auch beim Zerbrechen durch Dehnen die Bruchfläche auf die Richtung der Kraft ſenkrecht, beim Zerdrücken dagegen parallel darauf. Beim Biegen iſt die Wirkung complicirter. Der convexe Theil wird verlängert und in der Querrichtung verdichtet, der concave Theil verkürzt und in der Querrichtung dilatirt. Das Zerbrechen kann daher zwiefach ſein, indem die Theile entweder auf der convexen Seite zerriſſen oder auf der concaven Seite herausgedrückt werden. Beides wird oft beobachtet und ſogar nicht ſelten gleichzeitig, indem die Beſchädigung auf der concaven Seite nicht die nachtheiligen Folgen hat, welche bei dem Zerreißen der convexen Seite eintreten.

§. 96. Die Geſammtheit der durch äußere Kräfte verurſachten bleibenden Aenderungen, wollen wir durch Feſtigkeit bezeichnen. Sie enthält folgende Momente, deren Zahl ſich jedoch leicht mehren ließe:

1) Haltbarkeit. Das zum Zerreißen erforderliche Gewicht in Atmoſphären, nach den anfänglichen Dimenſionen des Körpers berechnet. Die Hauptſchwierigkeit beſteht in der Beſtimmung des Gewichts, das, weil man den Verſuch nicht Jahre lang fortſetzen kann, immer etwas zu groß gefunden wird, und bei den gewöhnlichen Methoden oft bedeutend über dem kleinſten Bruchgewichte. Die Haltbarkeit wird von den Mechanikern gewöhnlich Cohäſion oder Feſtigkeit genannt.

2) Tragkraft. Daſſelbe, aber nach den Dimenſionen, welche der Körper im Momente des Reißens hat, berechnet. Hier muß jedoch die mit dem Acte des Reißens ſelbſt verbundene Verände-

rung der Querschnitte ausgeschlossen werden. Theoretisch am richtigsten würde die Tragkraft sich auf die Dimension beziehen, welche der Körper erlangen würde, wenn er mit einem von dem kleinsten der Reißgewichte sehr wenig abweichenden Gewichte belastet wäre. Daß man das Gewicht zu groß und den Querschnitt zu klein nimmt, macht die Berechnung der Tragkraft unsicher, und giebt gewöhnlich zu hohe Resultate.

3) Dehnkraft. Die Kraft, die man verwenden muß, um eine bleibende elementare Aenderung zu erlangen. Sie ist von den beiden vorhergehenden abhängig; am kleinsten da, wo die Differenzen der Haltbarkeit und der Tragkraft am größten sind, und dann zuweilen beinahe = 0; am größten ist sie, wenn sie der Haltbarkeit gleich ist, welche in diesem Falle mit der Tragkraft zusammenfällt.

4) Dehnraum. Die größte, aber nicht bleibende Veränderung der Dimensionen, die man hervorbringen kann. Sein Verhältniß zur Dehnkraft wird durch die Spannkraft bestimmt. Die relative Größe des Dehnraumes pflegt man mit elastisch zu bezeichnen.

5) Zähigkeit. Das Verhältniß der Haltbarkeit (A) zur Tragkraft (B), nämlich (B — A) : A. Sie ist = 0, wenn beide einander gleich sind. Die Sprödigkeit kann = A : (B — A) gesetzt werden.

6) Bildsamkeit. Die Kraft, die nöthig ist, um eine elementare Bewegung von einer gewissen anfänglichen Geschwindigkeit hervorzubringen. Auch sie ist von den beiden erst genannten Momenten abhängig, so daß bloß diese selbstständig bleiben; aber man ist noch weit davon entfernt, aus ihnen die übrigen ableiten zu können, und die Bildsamkeit ist noch so wenig untersucht, daß ich ihren quantitativen Werth gar nicht näher definiren will. Alle von der elementaren, bleibenden Veränderung im Körper abhängigen Momente faßt man als Geschmeidigkeit und Sprödigkeit zusammen, worunter man aber sehr verschiedene Phänomene begreift.

§. 97. Sie können sämmtlich beim Dehnen, Drücken, Biegen, Drehen u. s. w. bestimmt werden. Die Mechaniker haben dafür seit langer Zeit die Ausdrücke absolute Cohäsion oder Festigkeit, beim Dehnen; relative oder respective, beim Biegen; rück-

wirkende, beim Drücken. Diese Benennungen sind so unpassend und dabei so ungenügend, daß ich es vorziehe, Haltbarkeit u. s. w. beim Dehnen, Biegen, Drücken, Dehnen u. s. w. zu sagen. Mit Härte verbindet man einen Begriff, der dem, was wir Dehnkraft nennen, ähnlich, aber minder umfassend ist, indem bei der Härte der Körper niemals als Ganzes, sondern nur partiell beobachtet wird. Brüchigkeit, Biegsamkeit, Dehnbarkeit, Hämmerbarkeit u. m. a. Ausdrücke beziehen sich auf verschiedene Abarten von Geschmeidigkeit.

Dritter Abschnitt.

Die Festigkeit.

§. 98. Unter den Methoden, die Festigkeit zu finden, ist die genaueste, den Körper durch ein Gewicht herabzuziehen. Sie ist bei allen Körpern anwendbar, auch den geschmeidigsten. Bei sonst gleichen Umständen ist die Haltbarkeit unabhängig von der Länge, und dem Querschnitte proportional.

Eine Unterart des Dehnens ist der Druck, den eine Röhre, etwa durch Wasser oder comprimirte Luft, von Innen erleidet. Wenn a die Dicke der Wand ist, r der Radius, Q die Atmosphärenzahl für den Längenzug, so reißt eine Röhre unter dem Drucke von $aQ : r$ Atmosphären.

Oft beobachtet ist auch das Biegen. Die Kraft ist der Länge immer verkehrt, der Breite und dem Quadrate der Höhe direct proportional; also bei den Stäben von ähnlicher Gestalt, dem Quadrate der Dimensionen proportional. Bei Röhren ist daher die Haltbarkeit stärker, als bei massiven Körpern von gleichem Gewicht. So weit die Kraft bloß biegend wirkt, ist der obere Theil concav und comprimirt, der untere convex und dilatirt, zwischen beiden ist eine indifferente Zone. Viele Körper, Holz, Steine, Kork, werden früher an der concaven Seite beschädigt, indem einzelne Splitter herausgedrückt werden; das eigentliche Zerbrechen findet aber immer auf der convexen Seite statt.

Sind die Dimensionen in einem prismatischen Stabe nach Länge, Dicke und Breite $= l, a, b$, in einem cylindrischen Stabe

l und r und Q, die dem Längenzuge entsprechende Haltbarkeit, Q_1 und Q_2 das zum Zerbrechen erforderliche Gewicht, so ist, wenn die Enden frei aufliegen, die Mitte belastet ist,

$$Q = \frac{Q_1 l}{\pi r^3}; \qquad Q = \frac{3 Q_2 l}{2 a^2 b}.$$

Wenn das am Ende befestigt, der andre belastet ist, so sind die Werthe Q_1 und Q_2 ¼ so groß, als wenn die Belastung in der Mitte ist.

Wenn beide Enden fest und die Mitte belastet ist, so ist die Haltbarkeit größer, als in dem frei aufliegenden Stabe. Es giebt darüber sehr wenige Versuche; aber durch Rechnung kann man für gleichförmige Körper das Verhältniß leicht bestimmen, wenn es auch bis jetzt noch nicht geschehen ist. Nach Musschenbroek's Versuchen an Holz ist es wie 1 zu 2 und 3, nach Barlow und Belidor wie 2 : 3.

Bei dem Drehen bedient man sich, um die Haltbarkeit zu bestimmen, derselben Methode, wie bei der Spannkraft. Man hat aber bis jetzt nur wenige Versuche auf diese Weise angestellt.

Die Kraft, mit der Körper dem Zerdrücken widerstehen, ist als technisch wichtig oft beobachtet worden, aber es treten hier eigenthümliche Schwierigkeiten ein, welche beseitigt werden müssen, ehe man daraus auf die Haltbarkeit im Allgemeinen ein Resultat ableiten darf. Ich werde darauf in den Anmerkungen zu den Tabellen zurückkommen.

§. 99. Statt der Gewichte kann man sich eines Dynamometers bedienen, und da es von der Reibung bei Hebelapparaten und von dem Stoße, den das Auflegen der Gewichte verursacht, frei ist, so kann es genauere Resultate geben, wenn nicht praktische Schwierigkeiten eintreten. Da aber die Feder-Dynamometer mit der Zeit veränderlich sind, weil die Feder sich entspannt, so muß man es von Zeit zu Zeit durch Gewichte prüfen und corrigiren.

Die §. 96. angeführten Umstände werden den Beobachtungen über die Festigkeit niemals die Genauigkeit verstatten, welche man bei der Spannung erreichen kann. Die Dauer des Versuches ist oft von sehr bedeutendem Einflusse; ein Individuum kann immer nur auf eine Weise und einmal untersucht werden, und verschiedene Individuen, so gleichartig ihre Bereitungsart auch sein mochte, sind einander nie gleich. Am genauesten ist noch die Haltbarkeit

zu bestimmen, wo man bloß die Dimensionen des Körpers vor dem Versuche und die Belastung zu beobachten braucht; aber die übrigen Arten von Festigkeit, bei denen die Bruchfläche, die Verlängerung und die Dauer beobachtet werden müssen, sind wenig zuverlässig.

§. 100. Die Anzahl der Versuche, namentlich über die technisch wichtigen Stoffe Holz und Eisen, ist sehr groß, mit wissenschaftlichem Sinne angestellt sind aber nur wenige. Ich habe ebenfalls alle, die mir bekannt geworden sind, berechnet; jedoch theile ich hier nur diejenigen mit, welche sich entweder durch den Stoff oder die Genauigkeit des Verfahrens auszeichnen.

An der Spitze aller Beobachter steht Musschenbroek, der an zwei Orten, Dissertat. physicae. Leiden 1729. und Introd. ad Philos. naturalem 1762. eine große Anzahl von Versuchen bekannt gemacht und andre versprochen hat, die aber meines Wissens nicht erschienen sind. Sie erstrecken sich auf alle ihm zugänglichen Metalle für sich und in Legirungen, auf Glas, viele Holzarten und andre organische Stoffe. Er hat nicht alle Schwierigkeiten erkannt, die erkannten nicht alle beseitigen können; seine Apparate stehen denen, welche man jetzt haben kann, an Genauigkeit nach; aber keiner der spätern Beobachter in diesem Gebiete kommt ihm in der Zahl der untersuchten Stoffe nah, und ist ihm an Sorgfalt und Ausdauer überlegen. Ich habe Muschenbroek's Versuche als Materialien mit Auswahl benutzt und aus ihnen Resultate abgeleitet, die von Musschenbroek's eignen, welche die späteren Physiker ausschließlich anführen, gewöhnlich etwas abweichen.

Sickingen Versuche über die Platina 1782. p. 112. gehören zu den sehr wenigen, die bloß aus wissenschaftlichen Rücksichten angestellt sind. Der physikalische Theil der Arbeit ist für die damalige Zeit in jeder Rücksicht vorzüglich.

Guyton Morveau's Beobachtungen kenne ich nur aus Ann. de Chimie LXXI. p. 189, wo er bloß die Medien giebt. Da seine Arbeiten eine strenge, in's Einzelne gehende Kritik bedürfen, so bedaure ich, die Versuche nicht vollständiger vor mir gehabt zu haben.

Gauthey Journ. de Phys. 1772. IV. p. 402. Einige Versuche über Steine. Die Haltbarkeit bei dem Dehnen ist sehr veränderlich. Bei Transversalbiegung findet sich mehr Uebereinstim-

mung. Die Versuche mit Druckkräften sind am genauesten. Sie sind sämmtlich mit großer Umsicht angestellt und vortrefflich beschrieben.

Kamarsch hat im Jahrbuche des Polyt. Instituts in Wien zwei Arbeiten über die Dehnung von Drähten bekannt gemacht, 1832. p. 320 und 1834. p. 54. Jene waren mit einem Dynamometer, diese durch Gewichte angestellt. Die mit dem Dynamometer angestellten Versuche gaben weit größere Resultate, als die, welche Kamarsch selbst und viele andre auf gewöhnliche Weise gefunden hat. Da er sie in der zweiten ungleich vollständigeren Arbeit nirgends erwähnt, so habe ich sie ebenfalls nicht benutzt. Die neueren Untersuchungen bilden aber durch ihre Anzahl und ihre Genauigkeit die wichtigste Arbeit über Festigkeit. Kamarsch beobachtete den Draht kalt gezogen und geglüht. Das letzte geschah, indem man ein drei Zoll langes Stück bis zum Glühen in einer Weingeistflamme erhielt. Nach dem Glühen wurde es entweder beobachtet, oder ohne wieder geglüht zu werden, 1, 2 . . . mal durch Drahtlöcher gezogen und verdünnt. Er hat die meisten Versuche sechsmal wiederholt, und als Medium den mittleren Werth der beiden höchsten Beobachtungen genommen. Ich habe diese Medien, die aus nicht sehr abweichenden Angaben abgeleitet waren, beibehalten.

Außerdem haben Andre viele Beobachtungen über Messing, Eisen und Holz, unter andren auch Lambert, Pyrometrie p. 236. angestellt.

§. 101. Bei der Berechnung der Beobachtungen über die Festigkeit verfahre ich eben so, wie bei der Elasticität. Ganz abweichende Angaben habe ich weggelassen. Wo sich die Beobachtungen über eine Reihe verschiedener Varietäten erstreckten, und es nicht zweckmäßig war, sie einzeln mitzutheilen, habe ich sie in Gruppen geordnet, deren Glieder nicht sehr von einander abweichen, und die Medien daraus gezogen. Von einzelnen, sehr abweichenden Beobachtungen die mittleren Werthe anzugeben, habe ich, obgleich die Beobachter es oft selbst gethan haben, unterlassen zu müssen geglaubt.

In der Tabelle beziehen sich alle Angaben auf Längenzug.

Q ist die Haltbarkeit in Atmosphären.

Q, die Tragkraft (Bruchfläche).

S die Haltbarkeit eines geglühten Drahtes.

S_1, S_2 geglüht und dann einmal, zweimal gezogen.

R Dehnkraft.

Mm. die Dicke in Millimetern, sie ist immer nur annähernd angegeben.

Die beiden Arbeiten von Musschenbroek habe ich durch I. und II. oder durch M.I. oder M.II. bezeichnet.

Tabellen über die Festigkeit der Metalle.

§. 102. Platina, Dehnen.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.	
1,05	3,436	3,340	0,096	Kamarsch.
0,69	503	407	95	
001) 006)	604	Wollaston der größte dieser drei Werthe ist der zuverlässigste, die andren beruhen auf wenigen Beobachtungen.		
007) 008)	445	„		
017	296	„		
70	603	Sicking. Draht, Med. aus mehreren Beob.		
30	642	„		
2,00	586	Morveau. Draht.		

§. 103. Gold, Dehnen.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.	
1,05	3,214	3,139	0,075	Kamarsch. Ducatengold mit etwa 0,02 Zusatz, kurz vor dem ersten Versuche mit dem 1,05 dicken Drahte geglüht.
0,87	295	149	146	
69	361	180	181	
45	425	180	246	
00	546	Wollaston.		
70	349	Sicking. Draht, Med. aus mehreren Beob.		
2,00	322	Morveau. Draht.		
4,50	146	Musschenbroek II. in Sand gegossen.		
	335	„ „ „ „ und gehämmert.		
	376	„ in Eisen gegossen und stark gehämmert.		

§. 104. Gold-Silber-Legirungen, Dehnen. Musschenbroek II. Dicke = 2,6, gegossen. In 100 Legirung n Theile Silber.

n	Log. Q.	n	Log. Q.	
4) 9)	3,225	20) 25)	3,278	Die Zunahme von Q ist ungefähr dem Silbergehalt proportional und viel kleiner als bei andren Legirungen.
10	216	33	300	
12	238	50	293	
16	268			

§. 105. Gold-Kupfer-Legirungen, Dehnen.

In 100 Legirungen n Theile Kupfer, m Theile Silber.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.	
1,05	3,873	3,743	0,130	Kamarsch. 14karat. n = 29; m = 12. D. dünnste Draht brach bei d. leichtesten Krümmung. Q ist also bei dem ungeglühten wahrscheinlich zu klein. Fast dem Eisen gleich.
0,69	935	770	165	
45	952	807	145	
4,50	361	Musschenbroek II. n = 9 gegossen.		
	553	„ „ „ und gehämmert.		
	634	M. I. Pistolengold *) n = 10 Q, — 3,721.		

n	Log. Q.	n	Log. Q.	
5	3,402	12	3,585	Mussch. II. Mm. = 2,6, alle gegossen. Eine geringe Quantität Kupfer hat eine sehr beträchtliche Wirkung.
6	447	20	544	
9	477	25	540	
10	527	33	526	
11	530	50	350	

§. 106. Silber, Dehnen.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.	
1,35	3,491	3,242	0,249	Kamarsch.
0,87	549	260	289	
69	567	277	290	
45	604			
70	489	Sicking. Draht, Medium aus mehreren Beob.		
4,5	420	Morveau. Draht.		
	447	Musschenbroek II. Rein. geschmolzen.		
	463	„ Fast rein, geschmolzen.		
	731	„ „ „ „ und gehämmert.		

*) Man hat diese Beobachtung für falsch gehalten, weil Gold dadurch in die Nähe des Eisens kommt, aber sie wird durch die Angabe von Kamarsch an dem 14karatigen Golde bestätigt.

§. 107. Silber-Kupfer-Legirungen, Dehnen.
In 100 Legirung n Theile Kupfer.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.	
1,35	3,703	3,504	0,199	Kamarsch. 12löthig, n
0,87	791	—		= 25.
69	825	575	250	
45	872			
2,60	753	Mussch. II. Piasterſilber n = 9? gehämmert.		
	492	„ I. „		Draht; Log. Q, = 3,593.
	518	holländiſch Silber		„ Log. Q, = 3,649.

n	Logarithmus Q. a	b	c	d	
9	—	3,508	3,508	3,508	Musschenbroek II.
10	3,481	526	—	498	ſämmtlich geſchmolzen.
11	526	526	526	508	Mm. = 2,6.
12	517	526	517	506	a und b barbariſch Kupfer.
14	517	526	522	522	c ſchwediſch
16	551	569	531	526	d japaniſch
20	526	535	517	526	Die kleinen Unregelmäßig-
25	508	517	463	530	keiten ſind bloß zufällig.
29	—	—	—	508	Die Beobachtungen, weiſen
33	—	498	503	471	auf ein Maximum bei 0,16
40	488	—	—	488	Kupfer.
50	498	508	447	467	
67	468	478			
75	436	478			
80	468	468			
84	389	407			
86	458	458			
88	436	447			
89	425	430			
90	413	425			
91	425	447			
100	188	188			

§. 108. Silber-Zinn-Legirungen, Dehnen, Muſſchenbroek II. Gegoſſen Mm. = 4,5. In 100 Legirung n Theile Zinn.

n	Logarithm. Q. a	b	
9	3,373	3,425	a Mallacca Zinn.
20	519	463	b englisch „
25	307	245	
29	187	141	
33	146	—	
40	092	166	

§. 109. Silber-Blei-Legirungen, Dehnen, Muſſchenbroek II. Gegoſſen Mm. = 4,5.
In 100 Legirung n Theile ſchottiſch Blei.

n	Log. Q.	n	Log. Q.	
9	2,903	29	2,848	Unregelmäßiger und ſehr bedeutender Verluſt an Haltbarkeit.
20	689	40	456	
25	644	50	836	

§. 110. Silber-Zink-Legirungen, Dehnen, Muſſchenbroek II. Gegoſſen Mm. = 4,5.
In 100 Legirung n Theile Zink.

Mm.	Log. Q.	
9	3,100	ſämmtlich ſehr ſpröde.
17	307	
50	307	

§. 111. Kupfer, Dehnen.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.	Log. S.		
1,56	3,590	3,366	0,224			Kamarſch*) S. bezieht ſich auf einen geglühten Draht v. 1,35 Dicke, d. durch 2, 4, 6, 8 Löcher gezogen wurde. S iſt faſt conſtant = 3,354.
35	610	356	254	3,356	0	
05	630	349	281	496	2	
0,87	656	351	305	532	4	
69	674	343	331	585	6	
43	712	355	357	627	8	

*) Es war plattirter Draht von Schwabach. Die Silberplatte iſt zwar ſehr dünn, aber die Schicht an der Oberfläche pflegt einen größeren Einfluß auf die Haltbarkeit zu haben, als jede andere Schicht von gleicher Dicke.

Mm.	Log. Q.	
0,70	3,646	Sicking. Draht, Med. aus mehreren Beob.
2,0	626	Morveau, Draht.
6,3	114	Rennie, gegossen.
4,5	362	geschmiedet.
	299	Musschenbroek, II. schwedisch, gegossen.
	401	„ gehämmert.
	188	barbarisch, gegossen.
	339	„ gehämmert.
	336	Cäment, gegossen.
	142	japanisch „
	2,958	chinesisch „
2,6	336	„ schwedisch, Draht. Log. Q = 3,212.
1,8	330	Navier, Blech. Mm. ist die Dicke des Bleches.
1,2	288	„ „

§.112. Kupfer-Zinn-Legirungen, Dehnen.

Mm.	Log. Q.	
6,3	3,394	Rennie, hartes Kanonenmetall.

Die folgenden sind von Musschenbroek II. Gegossen.

a barbar. Kupfer, englisch Zinn. Mm = 4,5.
b u. c japan. „ Banca „ „ 2,6.
d chinesisch „ Malacca „ „ „
e schwedisch „ „ „ „ „
f Cäment „ „ „ „ „

In 100 Legirung n Theile Zinn.

n	a	b	c	d	e	f
0	3,188	3,142	3,142	2,958	3,299	3,336
9	345	512	512	3,508	627	531
10	384	—	—	—	—	—
11	393	512	488	526	630	—
12	413	—	—	—	—	—
14	455	535	542	623	653	576
16	448	605	593	—	—	
20	388	557	535	637	585	—
25	2,685	062	2,991			
33	846	2,447	—			
50	755	—	—			
66	—	585				
75	—	845	935			
80	—	928	890			

Beide Bestandtheile, Kupfer und Zinn, gewinnen also sehr bedeutend durch einen verhältnißmäßig kleinen Zusatz. Die Unregelmäßigkeit in dem Gange rührt unstreitig von einer chemischen Verbindung von Kupfer und Zinn her.

n	a	b	c	
84		804	890	Das Maximum ist etwa bei 0,16 Zinn.
86		890	804	Nach M. Meyer hält Geschütz von
89		849	804	0,28 Zinn am besten.
91		845	836	
100		401	401	

§. 113. Kupfer-Zink-Legirungen, Dehnen. Kamarsch, Messingdraht.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.	
1,59	3,645	3,516	0,129	Vom Harze. Mm. ist die
26	781	516	265	Dicke verschiedener Num-
0,98	803	525	278	mern der Fabriken.
87	831	569	262	Der dickste Draht war un-
75	827	576	251	längst geglüht, daher Q
49	855	601	254	bei ihm zu klein, sonst ist
41	848	—		Q:S fast constant.
				Starke Verlängerung in
				d. ausgeglühten Drähten.
0,864	3,730	3,562	0,168	Nürnberger Klaviersaite.
75	767	573	194	Die geglühten fast con-
51	818	568	251	stant und stark verlängert.
35	862			
24	894			
18	906			
1,36	3,833	Englische Dräthe, sehr hart und elastisch.		
23	747	" " etwas minder hart u. elastisch.		
06	713			
0,91	622	" " sehr weich, vermuthlich vor Kurzem geglüht, daher die Anomalie, daß der Drath minder haltbar ist.		
1,06	3,846	3,686	0,160	Argentan von Wien.
71	893	697	196	Kupfer, Nickel und Zink.

Mm.	Log. Q.	Log. S.		Log. Q_1:S.	
0,86	3,730	3,562	0	0,168	Eine nürnberg. Klavier-
73	721	552	1	169	saite v. 0,864 wurde durch
62	799	558	2	240	mehrere Löcher gezogen u.
55	836	576	3	260	erhielt dadurch die Werthe
36	905	629	5	277	der zweiten Spalte. Eine

ähnliche Saite wurde geglüht, und dann 1, 2, 3, 4, 5 mal durch dieſelben Löcher gezogen gab ſie die Rubrik Log. S1

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.		
1,90	3,807	3,536	0,271	ſpröde	Dufour, Draht.
	604	459	145	weich	Die Zahlen der
0,85	918	590	328	ſpröde	vorletzten Ru-
0,70	760	Sickingen. Draht.			brik wurden in
6,03	080	Rennie gegoſſen.			angelaſſ. Drahte
					gefunden.

§. 114. Die Verſuche von Muſſchenbroek über Kupfer-Zinklegirung ſind nicht zahlreich, geben für die Haltbarkeit keine regelmäßige Reihe und ſind durch neuere Unterſuchungen überflüſſig gemacht. Ich theile daher nur einen Verſuch mit, der, ſo viel ich weiß, von keinem andren angeſtellt iſt. Es wurde ein Meſſingſtab von etwa 10 Mm. Dicke gegoſſen. Ein Theil von ihm einmal, ein andrer zweimal, ein dritter dreimal u. ſ. w. bis zum ſechſten durch Löcher von abnehmender Weite gezogen. Der ſechſte hatte einen Durchmeſſer von 7,5. Dieſer wurde geglüht und dann von Neuem durch ein, nnd dann noch durch ein zweites Loch gezogen, ſo daß der dünnſte Stab etwa 6,7 dick war. Aus allen dieſen Stäben wurde ein Stück zu einem quadratiſchen Prisma von 2,6 Mm. Seite geſeilt. Es fand ſich Log. Q

in gegoſſenem	3,124	5 mal gezogen	8,547
1 mal gezogen	062	6 „ „	605
2 „ „	873	geglüht	522
3 „ „	483	1 mal gezogen	535
4 „ „	452	2 „ „	605

Die Zahl 3,062 rührt vermuthlich von einem Schreibfehler Muſſchenbroek's her. Setzt man für 165 Pfunde, die er angiebt, 265, ſo ergiebt ſich unſer Werth Log. Q = 3,268.

§. 115. Blei, Dehnen.

Mm.	Log. Q.	
3,27	2,130	Kamarſch. Vom Harze. Draht.
2,34	175	
2,04	206	
1,65	206	
1,84	254	Der harzer Draht geſchmolzen und gezogen.
1,56	230	

Mm.	Log. Q.	
2,98	2,328	Ein ähnliches Stäbchen, ganz wenig gezogen, nur um schadhafte Stellen zu entfernen und dann auf die verlangte Dicke gefeilt. Das Feilen vermehrte also die Kraft.
87	325	
2,74	369	Harzer Blei mit 0,05 Zink. Ganz dasselbe fand sich an zinnhaltigem englischem Blei.
18	374	
2,4	1,994	Navier. Gewalztes Blech. Beides Medien aus wenig verschiedenen Versuchen. Die Unterschiede rühren wahrscheinlich nicht von der Dicke, sondern von der Bearbeitung her.
3,3	2,208	
6,00	2,095	Rennie. Geschmolzen.
4,5	1,782	Mussch. II. geschmolzenes englisches Blei.
2,6	2,397	„ „ I. Draht.
	2,19	Jardine. Druck auf das Innere von Röhren.
	33	„ auf die Bruchfläche reducirt.

§. 116. Blei-Antimon-Legirungen, Dehnen.

In 100 der Legirung n Theile Antimon.

n.	Mm.	Log. Q.	
6	2,75	2,635	Kämarsch, Draht. Sehr spröde, jedoch zu Draht zu ziehen.
	2,04	579	
	0,90	492	
	0,69	460	

n	Log. Q.	n.	Log. Q.	
0	1,782	16	2,764	Musschenbroek II. Gegossen Mm = 4,5. Also starke Zunahme durch kleine Beimengungen.
9	2,718	20	667	
10	764	25	270	
11	764	33	047	
12	799	50	1,940	
14	764			

§. 117. Blei-Wismuth-Legirungen. Dehnen.

In 100 Legirung n Theile Wismuth. Musschenbroek II.

n.	Log. Q.	n.	Log. Q.	n.	Log. Q.	
0	1,782	18	2,498	23	2,601	Mm = 4,5
9	2,287	20	504	37	498	Also starke Zunahme
10	376	22	536	40	551	durch kleine Beimen-
11	323	25	545	43	649	gungen. Ich habe hier
12	259	27	488	50	700	alle Beobachtungen
14	362	29	514	60	663	mitgetheilt, damit man
16	425	30	551	75	560	sich ein Urtheil über
						ihre Zuverlässigkeit bil-
						den kann.

§. 118. Blei-Zinn-Legirungen. Dehnen. Musschenbroek II.

In 100 der Legirung n Theile Zinn.

a Bancazinn und schottisch Blei.

b Weißes englisches Zinn und schottisch Blei.

c Malacca-Zinn und schottisch Blei.

d Malacca-Zinn und chinesisch Blei (Theeblei, zinnhaltig).

n.	Logarithm. Q. a	d	n	Logarithm. Q. a	b	c	
0	1,782	2,203	50	1,775	2,685	2,646	Mm. = 4,6.
9	(637 / 549	501	67	850	764	757	Auch hier bei ge-
			75	837	875	—	ringen Zusätzen
10	535	530	80	837	861	—	eine bedeutende
11	563	560	84	837	799	714	Vermehrung der
12	563	560	86	837	791	706	Haltbarkeit.
14	520	566	88	837	746	746	
16	563	566	89	837	734	695	
20	614	588	90	823	726	663	
25	660	614	91	800	664	685	
33	748	642	100	401	560	343	
50	775	642					

Kamarsch hat engl. Zinn und harzer Blei in gleichen Theilen beobachtet.

Mm.	Log. Q.
2,74	2,463
2,18	440

§. 119. Blei-Zinn-Zink-Legirungen. Dehnen. Musschenbroek II.

Blei	Zinn	Zink	Log. Q.	
16	68	16	2,823	Mm = 4,5
14	57	29	823	
12	51	37	952	

§. 120. Zinn. Dehnen.

Mm.	Log. Q.	
2,74	2,574	Kamarsch.
2,18	570	"
1,06	624	"
6,3	509	Rennie. Gegossen.
2,0	684	Morveau. Draht.
4,5	401	Musschenbroek II.
		Bancazinn, sehr geschmeidig u. rein geg.
"	343	" Malaccazinn gegossen.
"	425	" Schwarzes englisches Zinn gegossen.
"	560	" Weißes " " minder rein, gegossen.
"	701	" " " " " gehämmert.
2,69	631	Mussch. I. Zinndraht. Log. Q_1 = 2,735.

Die einzelnen Varietäten unter einander gemischt, gaben mehr oder weniger spröde Metalle, aber die Haltbarkeit war nicht stärker als in den einfacheren Verbindungen.

§. 121. Zinn-Antimon-Legirungen. Dehnen. Musschenbroek II.

a Banca-Zinn mit Antimon, gegossen.

b Malacca-Zinn " " "

In 100 der Legirung n Theile Antimon.

n	Log. Q. a	Log. Q. b	n	Log. Q. a	Log. Q. b	
0	2,401	2,343	16	2,933	2,861	Mm. = 4,5.
9	858	508	20	940	928	Der Gang ist zwar sehr
10	867	601	25	938	892	unregelmäßig, aber auch
11	806	839	33	890	952	hier anfänglich starke Zu-
12	886	861	50	313	532	nahmed. Haltbarkeit. Durch
14	911	875				zu viel Antimon wird die Legirung sehr brüchig.

§. 122. Zinn-Wismuth-Legirungen, Dehnen, Muſſchenbroek II.

a Banca-Zinn und Wismuth, gegoſſen.
b Malacca-Zinn.
c Engliſch Zinn.

In 100 der Legirung n Theile Wismuth.

n	Logarithm. Q. a	b	c	n	Log. Q.	
0	2,401	2,343	2,425	67	2,836	Mm. = 4,6.
9	938	782	663	75	806	Starke Zunahme
10	3,021	831	861	80	732	durch kleine Beimen-
11	027	846	831	84	660	gungen. Gang ziem-
12	046	915	839	86	505	lich regelmäßig.
14	046	943	831	88	505	Sämmtlich ſehr ſprö-
16	021	954	799	90	476	de.
20	059	999	831	91	423	
25	2,982	3,009	799	100	330	
33	982	2,952	861			
50	615	861	815			

§. 123. Zinn-Zink-Legirungen. Dehnen. Muſſchenbroek II.

a Banca-Zinn, indiſch Zink gegoſſan.
b Malacca-Zinn, goslar Zink „

In 100 der Legirung n Theile Zink.

n	Logar. Q. a	b	n	Log. Q. a	
0	2,401	2,343	67	3,040	Mm = 4,6.
9	946	938	75	2,921	Wie gewöhnlich ſtarke Zu-
10	938	882	80	921	nahme bei geringen Zu-
11	927	878	84	977	ſätzen. Der Werth für den
12	915	861	86	637	Zink iſt zu klein.
14	938	846	90	589	
16	890	875	91	589	
20	946	868	100	284	
25	927	875			
33	3,012	911			
50	035	864			

§. 124. Dehnen.

Mm.	Log. Q.	
2,00	3,166	Nickel. Morveau. Wahrscheinlich viel zu klein. Er war sehr spröde.
4,50	4,861	Antimon. Muſſchenbroek II. Wahrscheinlich ganz falsch. Er giebt dem Antimon ein spec. Gew. = 4,5 statt 6,7.
„	2,330	Wismuth. Muſſchenbroek II.
1,01	2,756	Kadmium. Kamarſch. Der Draht von 0,91 ist
0,91	849	„ „ der v. 1,01 auf die Bruch-
1,66	757	„ „ fläche reducirt *).
2,18	3,128	Zink, Draht aus wiener Fabriken.
1,53	129	„
1,01	147	„
0,69	200	„ Ein aus Blech gezogener Draht.
2,00	188	„ Morveau. Draht. Medium aus mehrern Verſuchen.

§. 125. Eiſendraht, Dehnen. Kamarſch.

Königshütte im Harz.

Mm.	Log. Q.	Mm.	Log. Q.	Mm.	Log. Q.
0,98	3,897	0,57	3,969	0,37	4,013
87	903	51	972	31	018
76	904	46	989	27	064
69	928	42	985		
60	934	38	992		

Frauenthal in Oeſterreich.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q : S
1,12	3,805	3,521	0,283
0,99	820	—	—
80	828	548	280
70	884	519	335
59	941	—	—
55	953	587	366

*) Der Draht ſoll um ½ verlängert ſein. Dieſes würde eine etwas größere Reduction des Querſchnitts vorausſetzen.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.
51	3,963	—	—
45	966	—	—
40	4,023	3,629	0,394
35	028	—	—
31	035	—	—
26	103	—	—

Iserlohn, Westphalen.

Mm. = 1,25 — 0,86; Log. Q = 3,779 ohne merkliche Variation.
0,77 — 0,45; 3,868

Berliner Klavierſaiten.

Mm.	Log Q.	Log. S.	Log. Q:S.
0,92	3,890	3,687	0,204
75	960	691	269
57	4,010	750	265
31	115	—	—

Der Draht 0,80 wurde, nachdem er geglüht war, durch 2, 3, 4, 7 Löcher gezogen, ohne wieder geglüht zu werden.

0,80	3,548	0 mal	Alſo nach 7 maligem Ziehen noch lange nicht dem gleich dicken ungeglühten Drahte gleich.
69	651	2	
62	688	3	
54	734	4	
46	804	7	

§. 126. Stahldraht, engliſch.

Mm.	Log. P.	Log. S.	Log. P:S.	
0,95	3,992	3,773	0,149	Der ungeglühte brach bei
85	967	777	190	der kleinſten Biegung.
73	978	785	193	Der geglühte faſt conſtant
61	4,040	784	256	= 3,780.
45	068			

Der Draht 0,85 wurde geglüht und dann 2, 4, 6 mal gezogen, ohne weiter geglüht zu werden.

0,85	3,777	0 mal	alſo ſchnell hergeſtellt; der letzte
73	892	2	Draht faſt ſo groß, wie der unge-
61	967	4	glühte.
45	4,028	6	

§. 127. Eisendrath von Frauenthal und Messingdrath vom Harze (§. 113. 125) geglüht und dann, ohne wieder zu glühen, durch dieselben Löcher gezogen.

Mm.	Logar. Q. Eisen	Messing	gezogen	Diff.	
0,95	3,819	3,817	„		ungeglüht.
„	542	544	0		geglüht.
90	609	613	1	0,004	„
83	668	711	2	043	„
78	677	744	3	067	„
69	734	808	4	074	„
60	757	832	5	075	„

Bei weiterem Ziehen wären die Differenzen unstreitig kleiner, und zuletzt negativ geworden, denn Eisen kann eine höhere Haltbarkeit erreichen als Messing.

§. 129. Eisendraht.

Mm.	Log. Q.	Log. S.	Log. Q:S.	
0,85	3,913	3,555	0,358	Dufour, aus genfer Fabriken. Die Verlängerung, welche die 4 angelassenen Drähte durch das Reißen erfahren hatten, war der Reihe nach 5,8; 4,7; 3,4: 3,3 u. die nicht angelassenen etwa 15 Tausendstel.
1,90	826	549	277	
2,75	795	505	290	
3,70	845	561	284	
1,60	708			Gerstner. Gemeiner Eisendraht.
0,7 1,2	3,913			„ Klavierdraht.
0,70	3,690			Sickingen. Weich.
	763			Mittlere Werthe.
	904			Sehr hart und spröde.
2,00	887			Morveau.
	603			Musschenbroek I. War der Draht damals so schlecht?

Man hat noch andre Versuche über Drath z. B. von Seguin (Ann. Ch. Ph. 1824. XXVI. p. 109) aus Fabriken von Besançon u. a. Orten; F. v. Mitis 1823 angestellte Beobachtungen (Baumgart. Zeitschr. VI. p. 80) u. a. Es sind aber bloß für technische Zwecke

angeſtellte Meſſungen, die bei den Verbeſſerungen, welche in den Drahtfabriken, beſonders in dem Anlaſſen der Drähte, ſo leicht gemacht werden können, uns nicht einmal über die Haltbarkeit der Drahtſorten jener Fabriken Aufſchluß geben.

§. 129. Eiſenblech, Navier.

Dicke Mm.	Log. Q.	Log. Q_1. Rißfläche.	Log. Q_1:Q	
1,5	3,544	3,747	0,203	parallel d. Richtung des
1,5	597			Walzens. Das Verhältniß
2,3	598			zwiſchen der Haltbarkeit
„	644	3,729	0,015	u. der Dehnkraft iſt in Lo-
„	623			garithmen 0,128; 0,083;
				0,316; 0,154 und 0,062. Dieſe
				Angaben haben jedoch nur einen
				relativen Werth.
1,0—1,1	582	—		perpendiculär der Richtung des
1,5—2,2	511			Walzens.

Die bleibenden Veränderungen ſind weit kleiner perpendiculär der Richtung des Walzens als parallel damit.

§. 130. Stabeiſen, Dehnen. Lagerhjelm.

Mm. etwa = 13.

	Stück.	Log. Q.	Log. Q_1.	Log. Q_1:Q	
Schwediſch, gewalzt,					
ungegärbt,	8	3,551	3,904	3,353	härter.
„ „	7	484	922	435	weicher.
geſchm. ungegärbt	3	582	766	184	
gewalzt, gegärbt	2	604	850	246	
geſchmiedet „	5	566	921	355	1 Sorte.
	7	596	852	256	2 „
Engliſch beſtes Tau-	6	525	863	338	1 „
eiſen	5	555	846	291	2 „
wenig haltbar	7	3,487	R = 3,072	Diff. = 0,415	
ſehr „	7	600	203	397	

alſo die mittleren Verhältniſſe von Haltbarkeit und Dehnkraft conſtant. Dieſes geht auch aus andren Verſuchen hervor.

Schwediſch gegärbt	4	3,599	R = 3,231	Q_1 = 3,875
„ ungegärbt	4	530	108	906
Engliſch	4	572	106	866

§. 131. Stabeisen, Dehnen.

J. v. Mitis (Baumgartn. Journ. 1829. VI. p. 1).

Mm.	Log. Q.	Log. Q_1	Log. $Q_1 : Q$	
5,0	3,819	4,095	0,276	unebener, körniger, Bruch.
3,4	651	3,892	241	Medium dreier Versuche.
3,5	530	3,918	388	zwei einander völlig gleiche
"	529			Drähte, der erste in sehr hoher, der zweite in möglichst niedriger Temperatur gehämmert. Bruchflächen in beiden gelesen.

Die Differenz zwischen Dehnkraft und Haltbarkeit war bei Eisenstäben von 3,53 bis 3,96 Haltbarkeit, fast constant 0,24.

6,5	3,558	3,742	0,184	schwedisch. Brown,
	542	731	189	" Resultate sämmtlich zu klein.
	569	710	141	englisch.
	558	823	265	"
	606	843	237	russisch.
	604	811	207	walliser.
6	3,655	3,821	0,166	Telford. Englisch.
4 -6	621	814	183	"
5	646	—	—	Medium vieler englischen
7	688	936	248	und schwedischen Eisen.
9,5	3,755	R = 3,628	0,127	6St. Brunel. Engl. die Angaben, besonders über d. Dehnkraft, sind sehr hoch, und wol nicht ganz richtig, die Differenzen sind auch hier constant.
	789	663	126	7
	823	692	132	6
	691	551	140	1
13,1	3,711			Quantin. Schlesisch.
4,4	718			
1,3 / 2,0	3,634			Rumford. Medium aus vier wenig von einander abweichenden Versuchen mit sehr weichem, aus einem Block gesägtem, und durch die Feile allein ohne Hammer geformtem Eisen.
	3,691			Rennie. Schwedisch.
	581			" Englisch.

Karsten schätzt gutes Stabeisen

Mm.	Log. Q.	
24	3,60	In runden Zahlen.

Mm.	Log. Q.	
12	3,70	
6	3,80	
2,6	3,748	Musschenbroek. Andalusisch Eisen.
„	3,671	Schwedisch.
„	785	
„	713	Lütticher.
„	690	Osmunder.
„	671	gemeines deutsches Eisen.
„	804	

§. 132. Stahl. Dehnen.

Mm.	Log. Q.	
5,5	3,961	J. v. Mitis, kärnthisch. Log. Q = 4,041; Diff. = 0,080.
6,0	961	Rennie, gehämmert, Gußstahl.
	958	Cämentstahl (Blister)
	939	Gerbstahl (Shear)
2,6	912	Musschenbroek II. weich.
	4,008	hart.
	3,778	Gerstner. Uhrfedern. Viel zu klein.

§. 133. Gußeisen, grau. Dehnen. Dicke ohne merklichen Einfluß. Mittlere Werthe.

Log. Q = 3,104 horizontal gegossen. Rennie.
122 vertical gegossen.
040 Brown.
00—3,10 grau, Karsten.
087 Hodgkinson.
349 Bevan Ph. Mag. Ann. 1827. I. p. 14. Eine einzelne viel zu große Beobachtung.

§. 134. Gußeisen. Biegen.

Log. Q = 3,516 Grau, Gazeran Ann. de Chim. VII.
583 „ im Flammenofen mit Steinkohlen umgeschm.
518 „ „ „ „ Holzkohlen „
426 Grauweiß. Alle Beobachtungen von Gazeran sind nun relativ. Die erste habe ich = 3,616 gesetzt, die andren daraus abgeleitet.
291—3,331 Weiß.
516 Grau. Rondelet. Medium mehrerer Beob.
369 Weiß.

Log. Q = 3,502—3,528 grau, verschiedene Varietäten. Banks.
205—3,342 Gerstner aus verschiedenen österreichischen Hütten.
517 grau. Tredgold.
437 weiß.
547 grau. Rennie. Medium mehrerer wenig abweichender Beobachtungen.
618 grau. Bevan. Ebenfalls zu groß.

Das weiße Roheisen ist krystallinischer und hat viele Absonderungsflächen. Daher ist es auch minder haltbar, als das graue, dessen mechanische Bestandtheile kleiner sind.

Merkwürdig sind die Unterschiede zwischen den aus der Dehnung und der Biegung abgeleiteten Werthen für die Haltbarkeit. Dort ist der mittlere Werth = 3,10, hier 3,52, also fast 3 mal so groß. Ob der Unterschied bloß von der Rechnung herrührt, kann ich nicht entscheiden. Aber die von mir gewählten Gleichungen (§. 98) werden allgemein für richtig gehalten.

§. 135. Nicht metallische Substanzen.

Log. Q = 2,478	Glasrohr; 2,212	Glasstab. Navier. Krystallglas Biegen. (Ann. Ch. Ph.1826.XXXIII.p.225).
348	500	
370	343	
294		
2,375	2,352	
2,135	Muschenbroek I. Dehnen.	
315	" "	
706	" Biegen.	
3,734?	Krokydolisch Hausmann. Dehnen. Pogg. Annal. 1831. XXIV. p. 155.	
1,937	Fasergyps " "	
2,436	Solider Leim, Bevan, Dehnen. Ohne Sorgfalt zwischen 2 Holzplatten aufgetragen, viel weniger.	
3,311	Papierblätter mit Leim zusammengeklebt.	
797	Hanffäden der Länge nach zusammengeklebt beide von Rumford.	

Spec. Gew.	Log. Q.	
2,706	2,137	Statuen-Marmor, ſehr rein, Tredgold.
113	1,795	Portland-Kalkſtein.
621	259	Dundas-Bruchſtein.
212	671	Longannet-Sandſtein.
362	721	Craigleith „
155	702	Hailes „
	1,28	Mauerziegel. Eytelwein.

Auch Gauthey u. e. A. haben Verſuche über Steine angeſtellt. Sie haben aber ſämmtlich nur einen techniſchen Werth; denn das Reſultat hängt nicht ſowohl von der Subſtanz, als von dem Gefüge ab.

§. 136. Organiſche Faſern, Dehnen.

Log. Q = 3,425 Coconfaden, W. Weber.
3,35—3,40 Ochſenknochen, Bevan und Emerſon.
3,70—3,40 N.Americ. Baumwollenfaſer. Heilman.

Aus Muſſchenbroek's Angaben, welche aber in Beziehung auf die Dicke nur ganz beiläufig ſind, ergeben ſich.

	Mm.	Log. Q.	Abſ.Gew.	
Coconfaden	0,0013	3,60	4	Gramm.
Spinnfaden	0025	3,26	9	ſehr dick.
Wollfaden	50	13	30	mehrere Faſ.
Leinfaden	26	40	1700	
Chineſiſch Papierfaden	34	80	5500	
Menſchenhaar	10	05	130	
Pferdehaar	26	2,97	500	
Rindsleder		3,57		

Baumwolle nach Heilman 2,5 — 4,0 Gramm.

§. 137. Darmſaiten trugen nach Muſſchenbroek I.

Mm.	Log.Q.	Abſ.Gew.	Mm.	Log.Q.	Abſ.Gew.
0,5	3,61	11 Kilogramm.	1,6	3,11	26 Kilogramm.
0,8	41	13	1,8	05	31
1,0	25	16	2,7	2,95	59
1,3	15	20			

§. 138. Die Unterſuchungen über Hanfſeile ſind zahlreich. Die Hauptarbeit iſt von Duhamel l'Art de la Corderie. Einige Beiträge haben Reaumur (Mém. de l'Acad. 1711. p. 6), Muſſchenbroek, Knowles, Barlow, Eytelwein, u. v. A. gegeben.

Knowles, englisch			Barlow, englisch.		
Umfang	Log. Q.	Abs. Gew.	Umfang	Log. Q.	Abs. Gew.
305	2,602	30500K.Gr.	76	2,729	2500 K.Gr.
355	593	41000	89	753	3000
406	547	48000	102	774	5000
457	560	62000	368	562	41000
508	562	77000	457	572	61000
610	514	100000	540	568	90000
			584	616	115000

Bei Bindfaden von 30—50 Millimeter Umfang ist nach Eytelwein Log. Q = 2,84—2,87. Die Substanz des Seiles ist wahrscheinlich der des Holzes gleich, d. h. etwa 2,0, das Gewicht eines Cubikcentimeters ist jedoch nur 0,866 — 0,879 Gramm.

§. 139. Bei allen diesen fasrigen Stoffen nimmt die Haltbarkeit in starkem Verhältnisse ab, wenn die Dicke zunimmt. Ein aus 10 Fäden bestehender Bindfaden trug schon viel weniger, als die Summe der Gewichte der einzelnen Fäden. Ein Bindfaden von 20 Fäden trug nur 0,8 davon, und bei 28 Fäden war der Verlust noch größer geworden. Einen ähnlichen Verlust erleidet die Haltbarkeit der Bindfäden, wenn sie zu einem Seile vereinigt sind. Die Ursache liegt in dem Winden. Bei Seilen, bei denen die Fäden durch Winden um 1/3, 1/4, 1/5 kürzer geworden waren, verhielten sich die Traggewichte wie 1 : 1,21 : 1,51. Je größer daher die Anzahl der Fäden ist, aus denen ein Seil von gewissem Umfange besteht, desto kleiner ist der Verlust. Zwei gleich starke Seile, das eine aus 3, das andre aus 6 Fäden bestehend, verhielten sich in der Haltbarkeit, wie 1 :

Das Winden der Fäden wirkt auf dreifache Weise nachtheilig auf die Haltbarkeit. Erstlich wird der Faden, wie ein Draht, an der Biegungsstelle abnorm gespannt, und bedarf eines geringern Gewichtes, um auf das Maximum gespannt zu werden, als früher. Zweitens sind die Fasern niemals ganz gleichförmig gewunden. Das Gewicht strebt zuerst die Fasern grader zu machen; widerstehen nun einige Fasern dieser Tendenz mehr als andre, so tragen sie einen verhältnißmäßig größern Theil des Gewichtes, zerreißen und bewirken die Zerstörung des ganzen Fadens. Drittens strebt das Gewicht die gewundenen und schräg gewordenen Fasern nicht bloß zu zerreißen, sondern auch von einander zu trennen, wozu eine

geringere Kraft erforderlich iſt. Das Winden iſt nothwendig, um kürzere Faſern zu einem längern zu vereinigen, und um den Nachtheil zu vermeiden, den die Ungleichförmigkeit in der Dicke auf die Haltbarkeit äußert; denn der einzelne Faden reißt, wenn das Gewicht ſeinem kleinſten Durchſchnitte entſpricht, während ein untrennbares Aggregat von Fäden eine dem mittleren Querſchnitte entſprechende Haltbarkeit hat. So weit es mit dieſem Zwecke zu vereinigen iſt, muß man den Faden ſo wenig winden, als möglich.

Die dünnſten organiſchen Faſern, wie ſie in der Natur vorkommen, haben eine Haltbarkeit, die der des Stabeiſens, vielleicht ſelbſt der des Stahles nahe kommt; ſo bald aber die Faſern dicker werden, nimmt die Haltbarkeit, wahrſcheinlich aus demſelben Grunde, wie bei den Seilen, ab. Das Intervall zwiſchen 2,5 und 3,7 der Haltbarkeit der Ankertaue und der einfachen Faſern bietet noch ein weites Gebiet zu Verbeſſerungen dar.

§. 140. Ueber die Einflüſſe der Feuchtigkeit auf die Haltbarkeit weichen die Angaben von einander ab. Nach einigen iſt er poſitiv, nach andren negativ. Vielleicht laſſen ſie ſich auf folgende Weiſe vereinigen:

Baumwollen-Garn, Hanf, werden durch Feuchtigkeit viel dicker, und tragen mehr als früher. Der Unterſchied beträgt etwa 1,2 (Henry, Ellice), auch Haar wird haltbarer durch Feuchtigkeit (Percival). Dagegen tragen, nach Muſſchenbroek, feuchte Hanfſeile nur etwa 0,7 der trockenen. Auch Seide, die bekanntlich das Waſſer weit ſchwächer anzieht, als die vegetabiliſchen Faſern, ſoll durch Feuchtigkeit verlieren. Das Waſſer kann nämlich ebenfalls eine bedeutende Laſt tragen, wenn es in dünnen Schichten zwiſchen feſten Körpern liegt, (Siehe Cohärenz der Flüſſigen, §. 69) und ſo auch die Haltbarkeit der poröſen Subſtanzen vermehren. Andrerſeits wird die Faſer durch das Waſſer geſpannt, abnorm und noch ſtärker gekrümmt, indem die Seile bedeutend kürzer und dicker werden. Beide Urſachen wirken einander entgegen. Ihre Intenſität genau zu beſtimmen, muß aber künftigen Unterſuchungen vorbehalten bleiben.

Alle poröſen Stoffe werden durch Feuchtigkeit gemein biegſamer; ihre Dehnkraft nimmt ab, indem die Flüſſigkeit, die über

einen festen Körper hingleitet, einen kleinern Widerstand erleidet, als feste, die über einander fortgeschoben werden.

Tabellen über die Festigkeit des Holzes.

§. 141. Das Holz, als ein technisch so wichtiger Körper ist sehr oft untersucht worden. Fast alle Beobachter, die ich §. 16 bei der Elasticität angeführt habe, haben auch die Festigkeit beobachtet, und außerdem verdanken wir Buffon (Mém. de l'Acad. 1738. p. 169; 1746. p. 453; 1741. p. 291.), Musschenbroek in den beiden oft citirten Werken und vielen andren aus älterer und neuerer Zeit eine Menge von Beobachtungen.

Musschenbroek's Versuche sind durch andre genauere ersetzt; aber Buffon's Arbeit hat noch jetzt ein bedeutendes Interesse, da er auf Kosten der Regierung eine große Menge Eichenstämme eines Waldes zu seinen Versuchen verwendete, welche mehrere die Haltbarkeit einer Holzart unter verschiedenen Umständen betreffende Fragen beantworten können. Sein Holz war immer 1—2 Tage vor dem Versuche geschlagen, also noch grün. Es ward auf zwei Stützen gelegt und transversal gebrochen. Ich habe die von ihm angegebene Länge als die effective angesehen; war aber der Stab nicht länger, so muß der auf den Stützen liegende Theil von der Länge abgezogen werden. Nimmt man an, wie Eytelwein zu thun scheint, daß sie an jedem Ende $\frac{1}{24}$ auflagen, so muß von Log. Q immer 0,038 abgezogen werden. Das Gewicht des Holzes, das bei großen Balken von beträchtlichem Einflusse ist, habe ich in Rechnung gezogen.

In neuer Zeit sind in Frankreich, besonders aber in England zahlreiche Versuche über verschiedene zum Schiffsbau geeignete Holzarten angestellt von Dupin, Barlow, Bevan, Finchan u. m. a. Sie haben den Fehler, daß die Versuche gewöhnlich nur wenige Minuten oder $\frac{1}{2}$ Stunde dauerten und daher das Brechgewicht (§. 74 ff.) zu klein gaben. Da dieses aber bei verschiedenen Beobachtern in verschiedenem Grade der Fall war, so kann man, um die relative Haltbarkeit der Holzarten zu finden, immer nur die einer Reihe angehörigen Beobachtungen mit einander vergleichen. Nur Eytelwein hat die Gewichte mehre Stunden und Tage lang fortwirken lassen.

§. 142. Das Holz ist ein Aggregat von Fasern, die aber nicht ganz grade sind, sondern mehr oder weniger spiralförmig ge-

wunden und durch Zwischenfasern vereinigt sind. Die Fasern haben dem Anscheine nach durch die Vegetation eine ähnliche Veränderung erlitten, wie Metalle durch Drahtziehen. Ihre Theile sind comprimirt, eine Säge, ein Keil in eine ausgeschnittene Furche gesteckt, werden mit einer beträchtlichen Stärke zurückgehalten. Die Fasern bedürfen einer weit größern Kraft, um zerrissen zu werden, als um sich von einander zu trennen. Schon ein etwas schräg gegen die Fasern geschnittener Stab kann von 0,8 und weniger des Gewichtes zerrissen werden, welches ein gradfasriger Stab verlangt. Wenn die Fasern, etwa durch das Ausgehen eines Astes, gekrümmt werden, so nimmt die Haltbarkeit ab, wenn man das Holz spalten, und zu, wenn man es quer durchschlagen will.

Von den zur Achse des Baums senkrechten Richtungen ist die dem Radius parallele Linie minder haltbar, als die Tangente der Jahresringe. Zwei transversal gebogene, der Achse des Baumes parallele Holzstäbe brachen nach Buffon,

wenn der Radius perpendiculär lag: Log. Q = 2,952
die Holzlagen „ lagen „ „ 997

§. 143. Die aus Beobachtungen mit Holz von verschiedenen Dimensionen berechnete Haltbarkeit wird oft um so kleiner gefunden, je größer sie sind. Bei Buffon war bei Biegung von 27 Mm. Dicke

und Länge	325	487	650	975	Mm.
Log. Q	2,951	2,962	2,936	2,906.	

In Holz von 487 Mm. Länge.

Dicke	27	38,3	54 Mm.
Log. Q.	2,935	2,882	2,823

Länge	108	135	162	189	217
2270	2,833	2,897	2,856	—	—
2600	825	865	828	2,851	—
2920	823	846	800	837	—
3250	823	826	793	825	2,03
3900	822	838	776	823	811
4550		848	759	806	810
5200		851	749	778	784
5850		806	746	760	742
6500		798	743	763	730
7150		806			
7800		715			
9100		709			

Die Zahlen der ersten Horizontalreihe sind die Dicke in Mm. Die verticalen Reihen die Werthe für Log. Q.

Regelmäßig sind diese Reihen zwar nicht und deuten auf beträchtliche Beobachtungsfehler; aber sie bestätigen doch die Abnahme von Log. Q. bei dem Biegen des grünen Eichenholzes, dessen sich Buffon bediente. Bei trocknem Holze und kleinen Dimensionen ist jedoch jene Abnahme von Log. Q noch nicht erwiesen. Bei Barlow, dessen Holz 380—1830 Mm. lang und etwa 25 Mm. dick war, ist die Abnahme nur schwach; auch bei Belidor u. A. zeigt sich kein entscheidender Verlust. Vielleicht daß in so großen Dimensionen, wie Buffon sie hatte, eine Krümmung der Fasern, ein Ast, weniger zu vermeiden war, als bei kurzen, ausgesuchten Stücken. Vielleicht auch, daß selbst die Voraussetzungen des Calculs nicht mehr richtig bleiben, wenn die Längen-Dimension einen Meter und darüber beträgt. Ich habe die Tabellen, die man leicht für jede andre Dimension interpoliren kann, nur wegen ihrer technischen Wichtigkeit angeführt.

§. 114. Ueber den Einfluß der Feuchtigkeit sind die besten Versuche von Finchan. Das Holz war von großen graden Stämmen, wie man sie zu Masten gebraucht, grün, und in 3 Stufen der Trockenheit, von der Spitze des Baumes und von seiner Basis. Medium vieler Versuche.

	Spitze.			Basis.		
	ϱ.	Log. Q.	Log. Q:ϱ.	ϱ.	Log. Q.	Log. Q:ϱ.
grün	0,595	2,662	2,902	0,636	2,706	2,903
etw. getrockn.	453	651	995	525	683	963
mehr „	483	718	3,034	543	773	3,038
sehr trocken	513	776	066			

Also vermindert das Trocknen die Haltbarkeit anfangs ein wenig wie bei andren faserigen Substanzen (§. 140). Dann nimmt sie zu und wird bei ganz trocknem Holze weit größer, als sie in dem feuchten war. Ueber die Veränderung, welche das Holz dabei in seinem Gefüge erleidet, giebt das specifische Gewicht Aufschluß. Anfangs, wo das Wasser einen Theil der Poren anfüllt, ist das Holz am schwersten. Beim Trocknen wird es absolut und specifisch leichter. Bei weiterem Trockenen nimmt das specifische Gewicht, obgleich noch Feuchtigkeit verdampft, fortdauernd zu; die Holzfasern

nehmen also eine bleibende Aenderung an und erlangen eine größere Haltbarkeit wie früher (Siehe §. 66 und Cohärenz der Flüssigen §. 169). Daraus erklären sich auch die abweichenden Beobachtungen über die Dichtigkeit und Haltbarkeit einer Holzart. Nach Buffon z. B. trägt trocknes Holz nur etwa 0,75 so viel, als vor 1—2 Tagen gefälltes.

Man hat in der neuern Zeit mehrere Mittel vorgeschlagen, um Holz schnell zu trocknen. Die Feuchtigkeit kann auf mehrfache Weise in kurzer Zeit entfernt werden. Aber die elementare Verdichtung, welche das Bauholz bei dem jetzt üblichen Verfahren während des Jahre langen Trocknens erlangt, wird dadurch noch nicht erreicht. Ob eine möglichst hohe Temperatur den Mangel an Zeit ersetzen kann, ist noch nicht untersucht worden.

§. 145. Mit dem specifischen Gewichte der einer Holzart angehörigen Stäbe steigt auch ihre Haltbarkeit. Barlow fand in verschiedenen Kieferstücken im Medium mehrerer Versuche.

ϱ	0,534	0,573	0,609	0,650	0,728
Log. Q.	2,786	2,817	2,843	2,815	2,883
Log. $Q:\varrho$.	3,019	3,019	3,048	2,993	3,012

Auch in vielen andren Versuchen nehmen bei trocknem Holze Haltbarkeit und specifisches Gewicht stets gleichzeitig zu. Die Werthe von $Q:\varrho$ nähern sich der Gleichförmigkeit weit mehr, als die von Q (Siehe Elasticität der Festen §. 40.)

§. 146. In dem Holze ist das specifische Gewicht und die Haltbarkeit sehr verschieden nach der Lage im Baume. Die Spitze und die Aeste stehen in beiden Beziehungen der Basis nach. Im Holz der Basis ist Log. Q. (nach §. 144) um 0,032—0,055 größer als im Holze der Spitze. An der Südostseite ist im nordwestlichen Theile von Europa das Holz stärker als an der Nordwestseite, woher bei uns die feuchten, kalten Winde kommen. In dem Querschnitte des Baumes hat der Kern die größte Schwere und Haltbarkeit, der Splint die kleinste.

Buffon fand an dem ungetrockneten Eichenholze, das specifische Gewicht des Splintes = 1 gesetzt, und Eytelwein an ausgesuchten und sehr trocknen Holzstücken:

		ϱ.	Log. Q.	Log. Q:ϱ.	
Eiche	Splint	1,000	2,895	2,895	Buffon.
	Mitte	052	919	897	
	Kern	133	966	912	
Kiefer	Splint	0,521	2,731	3,014	Eytelwein.
	Mitte	593	886	113	
	Kern	623	925	131	
Sommereiche	Splint	0,609	2,791	3,006	
	Mitte	619	902	120	
	Kern	739	3,018	149	
Erle	Splint	0,572	2,869	3,112	
	Mitte	656	960	143	
Rothbuche	Splint	0,721	2,998	3,140	
	Mitte	762	028	146	

Wo der Kern ſchwächer iſt als die Mitte, wie bei Muſſchenbroek's Verſuchen, denen Robiſon beiſtimmt, war der Kern krank. Dieſes iſt beſonders in ſehr großen Bäumen der Fall. Ganz geſunde Kerne ſind immer ſchwerer und haltbarer, als die Mitte. Auch hier ſtehen die Werthe von Q : ϱ einander viel näher, als die von Q. Jedoch nimmt auch Q : ϱ mit dem ſpec. Gew. etwas zu.

§. 147. Ein ſo ungleichförmiger Körper, wie das Holz, muß, auf verſchiedene Weiſe unterſucht, verſchiedene Werthe geben. Gegen Druck und Torſion iſt der Widerſtand verhältnißmäßig viel kleiner als gegen Biegung und Längenzug und die Spannkraft war bei der Torſion beträchtlich kleiner (Elaſticität der Feſten §. 41). Dieſe gab bei der Biegung und Dehnung beinahe dieſelben Werthe, bei der Feſtigkeit ſind auch dieſe verſchieden. Eytelwein, welcher dieſelben Holzvarietäten durch ein Gewicht in der Mitte eines an ſeinen Enden frei aufliegenden Stabes und durch ein der Länge nach wirkendes Gewicht unterſuchte, fand folgende Reſultate, die aus den Beobachtungen unmittelbar abgeleitet ſind:

	Sp. Gew.	Logar. Q. Dehnen.	Biegen.	Diff.
Kiefer, Kern	0,624	3,030	2,904	0,126
" "	623	152	946	206
" Mitte	612	137	835	302
" "	604	125	950	175

	Sp. Gew.	Logar. Q. Dehnen.	Logar. Q. Biegen.	Diff.
Kiefer, Mitte	0,565	3,161	2,876	0,285
„ „ sehr harzig	657	2,919	882	037
„ Splint	554	3,085	800	285
Sommereiche, Kern	0,795	3,247	2,946	0,301
„ Mitte	618	228	3,015	213
„ Splint	616	2,991	2,780	211
Steineiche	0,747	3,166	2,930	0,236
Weißbuche Mitte	765	131	872	259
Rothbuche „	762	171	3,028	143
Erle „	656	215	2,960	255
Weißtanne „	421	009	855	154
Rothtanne „	374	2,860	682	178

Die Differenz steht, das harzige Kieferholz ausgenommen, immer zwischen 0,14 und 0,30, und hat dem Anscheine nach keinen Zusammenhang mit dem specifischen Gewichte und der Haltbarkeit selbst. Der mittlere Werth ist 0,201, d. h. die Transversal-Haltbarkeit ist = 0,629, die Kraft gegen Längenzug = 1 gesetzt. Nach Bevan ist das Verhältniß 0,75; aber er giebt seine Beobachtungen nicht im Einzelnen.

§. 148. Außer den in der Structur des Holzes liegenden Ursachen haben zufällige Unregelmäßigkeiten im Holze einen großen Einfluß auf die Haltbarkeit. Einsägen in den Querschnitt bringt beim Längenzuge einen Verlust an Haltbarkeit hervor, der dem Einschnitte proportional ist. Bei den Transversalbiegungen dagegen ist die Wirkung sehr verschieden, je nachdem die Verletzung bloß die Breite des Stabes betrifft oder an der converen oder an der concaven Seite ist. An der converen Seite ist der Nachtheil viel größer als beim Dehnen; an der concaven dagegen kann der Einschnitt bis an die Mitte des Stabes reichen, ohne eine nachtheilige Wirkung hervorzubringen. Ja wenn man in den concav zu machenden Theil einschneidet und einen Keil hineintreibt, so zerbricht der Stab weniger leicht als in unverletztem Zustande, selbst wenn der Einschnitt bis auf $^3/_4$ Dicke hineingeht (Duhamel). Eben so ungleichförmig wirken unstreitig Sprünge und andre Ungleichförmigkeiten, die in dem Holze niemals ganz fehlen, auf die beiden Beobachtungsweisen.

§. 149. Ueber die Haltbarkeit verschiedener Holzarten giebt es viele Tabellen, von denen ich die wichtigsten hier mittheile, nach dem specifischen Gewichte geordnet, ohne jedoch die Varietäten einer Species oder sehr nahe verwandte Species von einander zu trennen. Die systematischen Namen lasse ich, um Raum zu ersparen, weg. Sie stehen größtentheils bei der Elasticität der Festen, §. 31 ff.

Bevan. Dehnen (Ph. Magaz. 1826. XXVIII. p. 269.)

Baum.	ϱ.	Log. Q.	Baum.	ϱ.	Log. Q.
Pappel	0,36	2,691	Wallnußb.	0,59	2,726
Weide	39	930	Roßkastanie	61	917
Spanisch Rohr	40	633	Süße „	61	955
Norweg. Tanne	34	3,086	Platane	64	912
„ „	46	2,943	Birke	64	3,030
Englische „	47	679	Maulbeerb.	66	2,959
Russische Fichte	52	954	Ahorn	66	3,077
Norweg. „	62	971	Sycomor	69	2,918
Altes Tiekholz	53	748	Rüster	69	989
Englische Ceder	54	891	Saalweide	70	3,104
Lärche	57	783	Apfelb.	71	124
Log. Q : ϱ = 3,179	0,47	2,851	Log. Q : ϱ = 3,163	0,65	2,976
Englische Eiche	0,73	3,070	Esche	0,81	3,091
„ „ alt	76	2,980	Weißbuche	82	141
Hamburger Eiche	66	3,008	Mahagoni	83	111
Rothbuche	72	180	Haselb.	86	080
Hollunder	73	3,010	Weißdorn	91	2,963
Linde	76	205	Bohnenb.	92	955
Stechpalme	76	038	Buchsb.	99	3,024
Rotheiben	79	2,737	Lanzenholz	1,01	203
Pflaumenb.	79	980	Lebensbaum	22	2,906
Log. Q : ϱ = 3,154	0,74	3,023	Log. Q : ϱ = 3,086	093	3,054

§. 150. Barlow. Dehnen (Essay on the Strength of Timber, 1824 und Eytelwein Statik II. p. 195).

Baum.	ϱ.	Log. Q	Baum.	ϱ.	Log. Q
Kiefer 0,532 —	0,611	3,018	Esche	0,762	3,073
„	600	003	Eiche	770	2,902
Esche	604	183	„	920	3,012
Mahagoni	637	844	Tiekholz	860	117
Birnb. ungl. förm.	646	982	Buchsb.	960	132
Buche	702	998	„	1,024	149
Log. Q : ϱ = 3,206	0,633	3,0101	Log. Q : ϱ = 3,119	0,882	3,061

Die beiden Arten Esche sind so verschieden am specifischen Gewichte und Elasticität, daß ich sie, ohne das Medium zu beeinträchtigen, nicht verbinden konnte.

Eytelwein. Dehnen. (Siehe §. 147.)

In beiden Tabellen nehmen Q und ϱ gleichzeitig zu. Jedoch wird Q : ϱ noch nicht ganz constant, indem es an schwerern Hölzern etwas kleiner ist als in leichteren.

§. 151. Barlow. Biegen (Essay 1823. p. 197. Eytelwein Statik II. p. 390). Auf zwei Stützen liegend.

Baum.	ϱ.	Log.Q	Baum.	ϱ.	Log.Q
Lärche	0,508	2,555	Kiefer v. Riga	0,725	2,670
"	566	655	" " "	764	657
Kiefer v. Neuengl.	547	654	Eiche v. Danzig	713	771
Puhuholz	579	958	" " "	777	791
Kiefer, englisch	609	707	englisch	925	691
" "	684	698	"	970	679
" "	707	720	adriatisch	944	755
" "	762	684	"	1,090	777
Pechtanne	634	810	Eiche, canadisch	0,872	859
"	712	844	Tiekholz	745	3,003
Rothtanne	657	739	Esche	760	2,918
Buche	692	801			
Log.Q : ϱ = 2,931	0,638	2,736	Log.Q : ϱ = 2,857	0,844	2,777

§. 152. Barlow. Biegen. (Phil. Mag. 1826 XXVIII. p. 269) Länge 2134 Mm. die Breite und Höhe 51 Mm. Zwei Stützen.

Er hat von den meisten Bäumen mittlere und äußere Stücke untersucht, die sowohl im specifischen Gewichte als in der Haltbarkeit bald positive bald negative Unterschiede zeigte. Ich habe, wo ihre Verschiedenheit nur klein war, das Medium genommen.

Baum.	ϱ.	Log.Q	Baum.	ϱ.	Log.Q
Rüster	0,513	2,657	Eiche, beste Sorte	0,752	2,943
Tanne v. Memel	590	850	Cabacallybaum	899	3,013
Gem. Birke, äußer.	630	921	Curbarilb.	954	147
Schwarze „ americ.	647	840	African. Eiche	983	008
Tanne v. Norweg.	689	803	Greenheartholz	1,000	036
Esche	714	921	Kugelbaum	029	035
Gem.-Birke, mittl.	792	872	Tunkabohnenh.	058	171
Eiche, schnell gew.	937	805			
" langsam "	835	780			
" " "	856	636			
Log.Q : ϱ = 3,020	0,658	2,838	Log.Q : ϱ = 3,070	0,954	3,050

Von den Eichen ist nur die beste Sorte in das Medium aufgenommen. Sie war auch die leichteste; die andren also wahrscheinlich feucht.

Der große Unterschied in den Werthen dieser beiden Tabellen kann nur von einem Fehler entweder in der Reduction oder in der Methode seinen Grund haben.

Eine einzelne 1832 angestellte Beobachtung giebt der Acacie Sp. Gew. = 0,710; Log. Q = 3,026; Log. Q : ϱ = 3,165, was sehr hoch ist, aber von Bevan bestätigt wird.

§. 153. Finchan. Biegen. Holz, wie man es zu Masten gebraucht (Siehe §. 144).

c ist 610 Mm. lang, an einem Ende fest.
Die übrigen 1219 Mm. lang, an beiden Enden gestützt.
Alle 76 Mm. dick.
a ist grün; b und c trocken; d sehr trocken und gut.

		Spitze		Basis	
		ϱ.	Log. Q.	ϱ.	Log. Q.
Riga-Kiefer	a	0,664	2,822	0,720	2,857
	b	516	818	633	845
	c	605	827	668	882
	d	610	916	—	—
Rothe Kiefer	a	0,627	2,676	0,712	2,771
	b	514	670	644	707
	c	544	773	634	834
	d	544	837	—	—
Americanische Kiefer	a	0,598	2,641	0,643	2,682
	b	488	665	546	666
	c	504	742	570	812
Norwegische Kiefer	a	0,572	2,641	0,595	2,677
	b	464	633	406	673
	c	464	697	506	830
	d	517	777	—	—
Adriatische Kiefer	a	0,532	2,637	0,582	2,673
	b	443	636	462	660
	c	467	723	493	795
Gelbe Kiefer	a	0,553	2,641	0,661	2,689
	b	395	636	440	680
	c	406	661	493	704
	d	439	700	—	—

			Spitze		Basis	
			ϱ.	Log. Q.	ϱ.	Log. Q.
Schottiſche Kiefer		a	0,478	2,576	0,542	2,600
		b	348	502	442	552
		c	389	605	440	651
		d	453	661	—	—
Cauriholz		a	0,626	2,860	0,543	2,865
		b	560	817	582	856
		c	626	853	622	883
		d	579	873	—	—
Puhnholz	Splint	b	0,632	2,860	0,658	2,879
		c	654	880	0,646	929
"	Kern		0,608	2,606		
		a	0,581	2,687	0,637	2,727
		b	484	693	535	724
		c	518	751	565	813
		d	524	781	—	—

Dieſe Zahlen weichen von denen des §. 144 etwas ab, weil dort, wo es auf die Vergleichung verſchiedener Umſtände ankam, nicht alle Beobachtungen benutzt werden konnten.

Außer mehreren älteren haben Dupin, Gerſtner, Tredgold u. a. m. Beobachtungen angeſtellt. Die von Dupin waren mir nicht zugänglich; bei den übrigen fehlte das ſpecifiſche Gewicht, oder ihre Anzahl war zu klein.

§. 154. Die mittlern aus den Tabellen abgeleiteten Werthe ſind, wenn man an die Stelle der Logarithmen die Zahlen ſetzt:

ϱ.	Q.	Q : ϱ.	Beobacht. Weiſe.	Beobachter.
0,625	1265	2023	Dehnen	Eytelwein
0,47	710	1511	"	Bevan
65	946	1455	"	"
74	1054	1426	"	"
93	1132	1219	"	"
0,633	1023	1607	"	Barlow
882	1159	1315	"	"
0,625	778	1245	Biegen	Eytelwein
638	544	853	"	Barlow
844	598	710	"	"
0,658	689	1047	"	"
954	1122	1175	"	"

ρ.	Q.	Q : ρ.	Beobacht. Weise.	Eytelwein
0,581	486	836	Biegen	Finchan
484	493	1019	"	"
518	564	1089	"	"
524	604	1154	"	"
637	530	836	"	"
535	533	991	"	"
565	650	1150	"	"

§. 155. Das Holz verhält sich beim Reißen sowohl von den spröden, als von den geschmeidigen Metallen verschieden. Seine Länge wird nicht beträchtlich vermehrt, die Bruchfläche ist auch nicht eben, sondern gewöhnlich sehr zackig, indem die Puncte, wo die Fasern reißen, nicht in eine Ebene fallen. Seine Geschmeidigkeit zeigt sich nicht in der Längenrichtung, sondern, wie die hygroskopischen und thermischen Eigenschaften, in der Transversalrichtung, und namentlich beim Biegen. Alles Holz biegt sich mehr oder weniger bleibend, ehe es bricht. Die Größe dieser Biegung könnte man als das Maß der Geschmeidigkeit im Holze ansehen. Ist l die Länge, a die Dicke, d die Biegung kurz vor dem Brechen, so werden verschiedene Stäbe von gleicher Substanz und ähnlicher Gestalt zerbrechen, wenn der Radius der Krümmung eine gewisse constante Größe erlangt hat. Dieser Radius ist proportional $l^2 : d$. Es sollte also $l^2 : da$ eine von den Dimensionen unabhängige Constante sein, die um so größer wäre, je weniger geschmeidig das Holz ist. Sie mag daher mit Sprödigkeit bezeichnet werden.

Buffon hat d in Stäben, deren Haltbarkeit ich (§. 143.) angegeben habe, beobachtet. Die Dicke schien keinen Einfluß auf diese Constante zu haben, aber bei verschiedenen Längen ergaben sich sehr ungleiche Größen.

Länge.	Sprödigkeit.	Länge.	Sprödigkeit.
2270	502	4550	908
2600	564	5200	1007
2924	681	5847	1101
3900	768	6497	1026

Also um so spröder, je länger das Holz ist. Bei eben diesen Versuchen nahm auch die Haltbarkeit mit der Länge beträchtlich ab; aber in einem lange nicht so starken Verhältnisse.

Barlow hat mit den Stäben, deren Haltbarkeit §. 151 ange-

geben ist, ähnliche Versuche angestellt, aus welchen sich für jene Constante verschiedene zwischen 400 und 800 fallenden Werthe ergaben. Theilt man die Beobachtungen in zwei Klassen von geringerem und höhern specifischen Gewichte, so ist

Sp. Gewicht	0,625	Sprödigkeit	593
	836		617

also kein merklicher Unterschied. Auch mit der Haltbarkeit und Elasticität findet sich kein deutlicher Zusammenhang. Aehnliche Resultate gehen aus andren Beobachtungen hervor.

Die Dehnkraft zu bestimmen, ist noch schwieriger als die größte Biegung, auch fand man sie im Log. bald 0,2, bald 0,5 kleiner als die Haltbarkeit, und diese Differenz ebenfalls außer Zusammenhange mit den übrigen Cohäsionskräften.

Holz ist also, so zahlreich auch die Versuche sind, ein noch wenig gekannter Körper und ohne sehr beträchtlichen Aufwand, welchen sich nur ein für Schiffsbau sehr interessirter Staat unterziehen kann, darf man nicht hoffen, aus den vielen individuellen Anomalien die Haltbarkeit und die Geschmeidigkeit abzusondern.

Festigkeit gegen longitudinalen Druck und gegen Stoß.

§. 156. Man muß bei dem longitudinalen Drucke drei ihren Extremen nach ganz verschiedene Fälle unterscheiden.

1. Wo die dem Drucke parallele Dimension vorherrscht.
2. Wo die Querdimensionen überwiegen.
3. Wo die Gestalt sich dem Würfel nähert.

§. 157. In dem ersten Falle wird die Hauptdimension gebogen und der Körper zerbricht, wie ein an einem Ende fester, an dem andren beschwerter Stab, mit dem Unterschiede, daß das Gewicht anfangs nicht senkrecht auf den Stab wirkt, sondern fast parallel. Wenn dieses ganz genau statt fände, so würde Biegung unmöglich sein; aber lange Stäbe sind niemals genau symmetrisch geformt. Die Kraft wird in zwei andre zerlegt; die eine ist dem Stabe immer parallel, die andre perpendiculäre ist die unmittelbare Ursache des Zerbrechens und verhält sich zur ganzen Kraft ungefähr wie a : l, wenn a und l die Dicke und die Länge eines cylindrischen Stabes sind. Die zerbrechende Kraft selbst (Q) ist beim Biegen proportional a : l, also ist

$l^2Q : a^4$ oder allgemeiner $l^2Q : q^2$,
wenn q der Querschnitt ist, eine Constante.

Mit dieser von Euler aufgestellten Formel stimmen die wenigen Beobachtungen, die man über sehr lange Stäbe hat (von Musschenbroek I. und II. und Girard Traité analyt. s. l. resistence des Solides), so weit überein, als man bei den Unregelmäßigkeiten, deren solche Krümmungen unterworfen sind, erwarten darf, und man hat Euler mit Unrecht den Vorwurf gemacht, daß er auch hier eine mathematische Hypothese ohne Rücksicht auf die Erfahrung aufgestellt habe.

Bei allen Röhren, die eine Last zu tragen haben, finden sich dieselben Gesetze, aber etwas complicirter, vor, weil die Gestalt des Querschnitts durch die Krümmung geändert wird und die Röhre auch der Länge nach zerreißt. Diese Druckkräfte sind zwar noch nicht berechnet, aber wegen ihrer technischen Wichtigkeit sind sie von Hericart de Thury u. a. beobachtet (Dingler Polyt. Journ. 1832. Mai p. 276); denn hohle Säulen tragen weit mehr als massive von gleicher Länge und gleichem Gewicht. In Thieren und Pflanzen spielen hohle Röhren sowohl gegen longitudinalen als transversalen Druck eine bedeutende Rolle.

§. 158. Bei Körpern von mittlerer Höhe bleibt während des Druckes die Achse unverändert, und die Querdimension nimmt anfangs bloß vorübergehend, dann aber bleibend zu, und wenn eine gewisse Grenze erreicht ist, spaltet sich der Körper der Achse des Druckes parallel. Die Höhe ist ohne Einfluß, und die Kraft hängt bloß von dem Querschnitte ab. Der Vorgang ist hier gänzlich verschieden von dem in langen Stäben, obgleich beide sich oft vermischen. Die Grenze, wo der zweite Fall eintritt, hängt von dem Gefüge des Körpers ab. Bei Steinen kann die Höhe 10mal so lang sein, als der Durchmesser des Querschnitts; bei Metallen und Holz nicht 4mal so groß. Bei Holzstäben, wo der Druck den Fasern parallel ist, die Fasern also von einander zu trennen strebt, muß, wenn ein Zerdrücken statt finden soll, die Höhe weit kleiner sein, als wenn die Fasern horizontal liegen.

Gewöhnlich hört mit dem Zerbrechen auch die Wirkung der fremden Kraft auf. Bei dem Longitudinaldruck dagegen wirkt die Kraft immer weiter und zermalmt daher meistentheils den Körper

wenn er nicht, wie die meisten Metalle, in zu hohem Grade geschmeidig ist.

§. 150. Hierbei tritt nun die dritte oben erwähnte Art des Druckes ein. Ein Haufen Sand, dessen Basis sich ausdehnen kann, vermag eine Last zu tragen, die zunimmt, wenn die Höhe im Verhältniß zum Querschnitte abnimmt. Man sieht daher oft, daß die Last, nachdem sie einen festen Körper bis auf einen gewissen Grad flach gedrückt hat, keine weitere Veränderung hervorbringt. Er ist dann gewöhnlich zermalmt, wobei aber der Zusammenhang noch groß genug ist, um eine beträchtliche Veränderung in der Gestalt des Randes zu verhindern. Hat nun die Höhe einen Grad erreicht, wo er selbst auch als Pulver die Last tragen könnte, so wird kein Zerdrücken mehr möglich sein. Diese Grenze hängt aber auf eine uns freilich noch unbekannte Weise von der Höhe ab. Bei dem Zerdrücken findet sich also der paradoxe Umstand, daß die Höhe bei sehr großer und bei sehr geringer Ausdehnung einen Einfluß auf die zum Zerbrechen erforderliche Kraft hat, während diese bei mittlerem Werthe bloß von dem Querschnitte abhängt.

§. 151. Die folgenden Angaben beziehen sich nur auf diese mittlere Höhe. Sie sind entweder unmittelbar gefunden, indem man Gewichte auflegte, oder vermittels eines einarmigen Hebels, an dessen Ende sich die Last befand. Bei der letzten Methode ist eine beträchtliche Reibung nicht leicht zu vermeiden. Die Zahl ist der Logarithmus der zum Zerdrücken nöthigen Atmosphären.

Rondelet fand bei Stabeisen, in Würfeln oder Cylindern von 13,5—27 Mm. Seite, in mehreren Versuchen sehr übereinstimmend 3,674—3,685 im Medium 3,680.

Rennie fand in Gußeisen-Würfeln, die aus der Mitte größerer Stücke ausgeschnitten, also von der gewöhnlich harten, beim Gusse sich bildenden Rinde frei waren, und 3—6 Mm. Seite hatten, 3,798—4,096; aber diese Unterschiede waren unabhängig von den Dimensionen. Prismata oder Cylinder von 3 Mm. Seite in der Basis und 3—12 Mm. Höhe gaben dasselbe Resultat 3,920; dagegen 16 — 25 Mm. hohe nur 3,829. Horizontal gegossene werden um etwa 0,026 schwächer als vertical gegossene. Der mittlere Werth verschiedener Stücke von 7,113 spec. Gew. = 4,052.

Karsten theilt in seiner Eisenhüttenkunde viele auf seine Veranlassung angestellte Beobachtungen mit. Es waren Gußeisen-

würfel, von etwa 6 Mm. Seite. No. 7—9 unmittelbar in dieser Größe gegossen. No. 1—6 dagegen aus großen Stücken, deren Querschnitt mindestens 16 Mm. Seite hatte. Jede Angabe beruht auf mehreren wenig abweichenden Beobachtungen.

1.	3,987	dunkelgrau, feinkörnig, horizontal gegossen.
2.	4,001	vertical „
3.	3,981	horizontal gegoss. } N 1 u. 2 im Kuppelofen umgeschm.
4.	976	vertical „ } u. offen auf d. Heerde ausgegossen.
5.	4,058	horizontal gegoss. } N 1 u. 2 im Flammenofen umgschm.
6.	078	vertical „ } u. offen auf d. Heerde ausgegossen.
7.	4,158	Weiß Roheisen. Zerspringt mit Knall und Licht.
8.	088	N 7 im Kuppelofen umgschm., Knall schwach, kein Licht.
9.	248	„ „ Flammenofen „ Knall stark, „ „
10.	124	Weiß. Aus größeren Stücken ausgefeilt, Knall stark, mit Licht.

Also Medium der horiz. gegossen.	4,0092
vertical „	0185
Grauen Roheisen	4,0138
weißen „	1544

Also das Stabeisen kleiner als das Roheisen, wahrscheinlich rührt dieses von der Geschmeidigkeit und der faserigen Textur her, welche bei longitudinalem Druck eben so nachtheilig ist, als vortheilhaft beim Zuge.

§. 161. Ueber Steine sind ziemlich viele Beobachtungen vorhanden, die freilich wegen des so verschiedenartigen Gefüges fast immer nur ein locales Interesse haben. Zu den am frühesten angestellten und besten gehören die von Gauthey. Aus ihnen habe ich folgendes abgeleitet. Die Querrichtungen sind etwa = 27 Mm. die Höhe 1—8 mal so groß.

Sp. Gw.	Maxim.	Minim.	Medium.	
2,87	3,403	3,286	3,380	Porphyr.
63	066	2,913	003	Marmor von Flandern.
70	2,653	492	2,539	„ „ Genua.
36	592	316	472	Baustein von Givey, hart.
07	151	1,943	059	„ „ „ weich.
1,71	108	920	005	„ „ Tonnere.
56	221	2,123	165	Ziegelstein *).
49	1,932	0,352	—	Sandstein, weich.

*) So bei ausgesuchten Stücken. Gewöhnlich tragen sie nur halb so viel.

Quantin giebt

2,00	2,242	Rotenburger Sandst. 78 Mm. dick, 209 Mm. lang.
	1,872	Guter Ziegelstein 54 „ „ 108 „ „

Rennie hat bei Würfeln von 25—38 Mm. Seite.

Q.	Log. Q.	
2,625	3,224	Granit von Aberdeen.
„	104	„ „ Peterhead.
662	2,989	„ „ Kornwallis.
2,598	3,133	Kalkstein, dicht, schwarz, von Limmerick.
760	2,968	Statuenmarmor, weiß, ohne Adern.
726	3,172	„ „ mit „
697	150	Marmor, schwarz, von Brabant.

Auch Tredgold hat mehrere Beobachtungen angestellt, aber seine Angaben sind so niedrig, daß ich sie nicht mittheilen will.

Holz, die Fasern der Richtung des Druckes parallel gestellt, hat bei Rennie Log. $Q_1 = 1{,}9 - 2{,}1$.

§. 162. Die Torsion hat mit dem longitudinalen Drucke gemein, daß die Körper sich in Fasern zu zertheilen streben und die Länge ohne Einfluß auf die zum Zerbrechen erforderliche Kraft ist; statt den Quadraten der Querdimensionen ist sie aber bei der Torsion ihren Kuben proportional. Diese Kraft ist bis jetzt sehr wenig untersucht worden, nnd die Beobachtungen, die mir darüber von Rennie haben, und die sich über viele Metalle erstrecken, geben von den aus dem Längenzuge hervorgehenden Resultaten große und für verschiedene Körper ungleiche Abweichungen.

Dagegen ist die Torsion ein gutes Mittel, um die Dehnkraft zu bestimmen. Wie wir in der durch Elasticität hervorgebrachten, vorübergehenden Drehung dünner Fäden das feinsten Mittel besitzen, um eine Kraft zu messen, so kann auch die bleibende Veränderung in den gedrehten Fäden, theils durch die Amplitudo der Schwingungen, theils durch die Ablenkung des Centrums, wenn das fremde Gewicht entfernt ist, sehr genau gemessen werden. Ich werde einige Beweise davon in der Folge mittheilen.

§. 163. Den Stoß stelle ich deßhalb nicht mit dem Drucke zusammen, um von dem alten Streite über lebendige und todte Kräfte zu sprechen. Er ist entschieden; obgleich über das Wesen des

Stoßes nicht nur in den Schriften der Mechaniker, sondern auch in vielen Handbüchern der Physik unrichtige Ansichten vorgetragen werden. Ferner unterscheidet man bei dem Stoße harte, weiche und elastische Körper. Aber die Mittheilung der Bewegung beim Stoße ist undenkbar, wenn einer der Körper gänzlich unempfindlich gegen äußere Kräfte ist, er würde jede Bewegung vernichten. Man darf nur die beiden Fälle unterscheiden, wo die Veränderung, welche der Stoß hervorbringt, die Grenze der Elasticität überschreitet, oder nicht. In dem letzten Falle sind die Körper, man mag sie sonst zu den weichen oder zu den harten oder elastischen zählen, als vollkommen elastisch anzusehen, und die bekannten Gesetze finden ihre Anwendung. Aber in dem ersten Falle wird nur der Theil der Kraft hergestellt, welcher der Compression der Körper angehört, der übrige geht verloren, und waren es Kugeln, die auf einander fielen, so entfernen sie sich nur mit einer jenem Theile angemessenen Kraft von einander. Vernachlässigt man ihn, so erlangt man die bekannten Formeln für den Stoß sogenannter weicher Körper. Die Entwicklung der Gesetze des centralen Stoßes, wenn, wie es gewöhnlich der Fall ist, die Grenze der Elasticität von einem der Körper oder von beiden überschritten wird, macht keine Schwierigkeit. Dadurch finden auch einige paradoxe Beobachtungen, die Benzenberg bei seinen Fallversuchen gemacht hat, ihre Erklärung.

§. 164. Eine Bleikugel, die von einer niedrigen Höhe auf Stein fällt, springt zurück. Von 104 Metern herabgefallen drückt sie sich flach und springt nicht zurück; denn der geborstene Stein reagirt nicht mehr. Auf hartes Holz von einer gewissen Höhe herabgefallen, plattet sich die Bleikugel ab und geht nicht merklich zurück. In weichem Holze macht sie ein Loch, bleibt rund und geht etwas zurück. In jenem Falle wurden wahrscheinlich die Holzfasern zerrissen; in diesem wurde das eingedrückte Holz comprimirt und reagirte etwas. Bei Blei tritt die Grenze der Elasticität so früh ein, daß der Rückstoß, den es erfährt, nicht von ihm, sondern von der Elasticität des Körpers, auf den es fällt, herrührt. Holz dagegen besitzt eine größere Dehnkraft. Bei geringer Fallhöhe verhält es sich wie Elfenbein, bei 104 Meter Höhe springt es 8 M. zurück, da auch hier ein Theil der Reaction durch eine bleibende Veränderung verhindert wird.

Zwei Elfenbeinkugeln, die auf einander stoßen, verhalten sich

gegen einander beinahe wie vollkommen elastische Körper. Macht man in eine derselben ein Loch und füllt dieses mit Blei und Elfenbeinspähnen so aus, daß die Kugeln an Gestalt und Gewicht keine Veränderung erleiden, so springen sie nach dem Stoße weit weniger von einander zurück als früher (Desaguliers).

§. 165. Ein Schiff scheitert, ein Gefäß zerbricht, nicht weil der Stoß Zeit gebrauchte, um sich von dem einen Ende nach dem andern hin fortzupflanzen. Der Stoß pflanzt sich gar nicht fort. Aber indem z. B. in einem scheiternden Schiffe ein Theil schnell in Ruhe kommt, behalten die andern noch ihre Bewegung bei; die Theile nähern sich einander mit einer gewissen Geschwindigkeit, comprimiren und biegen sich wie bei einem gewöhnlichen Drucke. Der Annäherung widersteht aber die Spannkraft, verzögert sie allmälig und hebt sie endlich auf, worauf, wenn keine bleibende Veränderung eingetreten ist, der gebogene Körper in seine frühere Lage zurückkehrt. Ueberschreitet aber die Spannung einiger Theile eine gewisse Grenze, die bei dem Stoße dieselbe Größe zu haben scheint, wie bei dem Drucke, so trennen sie sich von einander und der gestoßene Körper erleidet eine von der Geschwindigkeit der relativen Bewegung seiner Theile und von seiner Spannkraft und Geschmeidigkeit abhängige Veränderung. Man könnte den zum Zerbrechen erforderlichen Stoß berechnen, wenn die Spannkraft und die Gestalt des Körpers bekannt sind. Der Stoß wirkt auch hier nicht momentan, sondern die ganze Zeit hindurch, von dem Anstoßen des Schiffes u. s. w. an, bis die Spannung der Theile ein Maximum erreicht hat.

§. 166. Kleine in derselben Richtung wirkende Stöße, die periodisch auf einander folgen, können Körper von weit größerer Masse, als der Stoßende ist, in starke Oscillationen versetzen. Wenn von zwei neben einander hängenden Pendeln das eine in Bewegung gesetzt wird, so kommt auch das andre in Schwingungen, obgleich jeder einzelne Stoß der Luft, welcher die Bewegung vermittelt, nur sehr schwach ist. Das zweite Pendel wirkt sogar auf das erste zurück, so daß sie, wenn ihre Länge ein wenig verschieden ist, dennoch mit gleicher Geschwindigkeit oscilliren. Ganz auf dieselbe Weise pflanzt sich der Ton zwischen Körpern fort, die auf eine einfache harmonische Weise schwingen können; zwischen Saiten, deren Längen in aliquotem Verhältnisse stehen, zwischen Saiten oder Orgelpfeifen und Glasplatten, und zwischen einem tönenden Körper und einem Resonanz-

boden, der jede Schwingungsart anzunehmen im Stande ist. Auf demselben Grunde beruht auch, daß ein lang anhaltender Ton ein Glas zersprengen kann, daß 60 marschirende Soldaten, deren Gewicht etwa 4—5000 Kilogramm betrug, einer Kettenbrücke gefährlicher wurden, als eine Last auf Frachtwagen, die 10mal so groß war, u. a. m.

§. 167. Man kann auf mehrfache Weise Versuche über die Wirkung des Stoßes anstellen. Man hat Kugeln von gewissem Gewicht aus verschiedenen Höhen auf eine Metallfeder fallen lassen, und die Compression der Feder beobachtet; man kann die Entfernung bestimmen, um welche eine Kugel unter verschiedenen Umständen von einer Platte zurückspringt. In Schweden hängt man Ketten, die im Gebrauche Stößen unterworfen werden, ein Gewicht und läßt dieses von einer gewissen Höhe herabfallen. Wenn die Theorie des Stoßes ganz entwickelt wäre, möchte es jedoch besser sein, seine Wirkung aus denen einer größern Genauigkeit fähigen Versuchen über die Haltbarkeit und Spannkraft abzuleiten.

Verhältniß des Gefüges zur Festigkeit.

§. 168. Die Spannkraft hat für alle Substanzen einer Art, z. B. alle Varietäten Eisen, denselben Werth. Die Festigkeit ist dagegen in sehr hohem Grade von dem Gefüge abhängig. Die Haltbarkeit verhält sich zuweilen wie 1 : 4, während die Spannkraft fast keine andren Unterschiede zeigt als die, welche aus den Beobachtungsfehlern entspringen. Selbst ein und derselbe Stab oder Draht ändert seine Festigkeit beträchtlich ab, wenn er durch ein Gewicht verlängert wird. Die Dehnkraft, die in dem weichen Drahte nur sehr klein ist, steigt in dem durch Gewichte, die dem Reißgewichte nahe kommen, belasteten auf das 6fache und darüber und wird der Tragkraft und Haltbarkeit gleich.

§. 169. Das Ziehen durch Drahtlöcher macht alle Metalle haltbarer. Dieses ist zum Theil zufällig, indem die schadhaften Stellen der starken beim Ziehen angewendeten Kraft nicht widerstehen können, abreißen und keinen nachtheiligen Einfluß auf das Resultat des Versuches haben. Aber größtentheils liegt die Ursache in einer Aenderung der Theile, auf welche beide Kräfte, der Druck auf den Querschnitt und der Zug in der Länge gemeinschaftlich hinwirken, so daß die Theile in der Länge comprimirt, in der Quer-

richtung dilatirt ſind, alſo hier an Haltbarkeit verloren, dort gewonnen haben. Aus ähnlichen Gründen iſt auch in Blechen die Haltbarkeit größer in der Richtung des Walzens als perpendiculär darauf. Auch in den dicken, zu Dampfkeſſeln angewendeten Eiſenplatten bemerkt man, daß der Länge nach die Feſtigkeit größer iſt (Johnſon). Eine ähnliche Wirkung bringt auch das Schmieden hervor. Eine damascener Klinge, mit deren Schneide man andres Eiſen durchhaut, kann gebogen werden. (Siehe §. 32.)

§. 170. Unſre durch Hämmern geformte Metallſtäbe ſind Aggregate bald von einzelnen Körnern, bald von Faſern, die mehr oder weniger regelmäßig gelagert ſind, gewöhnlich ein Gemenge beider, wozu nicht ſelten, aber immer zum Nachtheile der Haltbarkeit, auch Blätter kommen. Am haltbarſten ſind die Stäbe, die als ein Aggregat paralleler Faſern angeſehen werden können, wenn man ſie der Länge der Faſern nach zieht. Wahrſcheinlich würden dieſe Stäbe, in Querrichtungen gezogen, oder durch eine Laſt longitudinal gedrückt, am ſchwächſten ſein. Die grobkörnigen zeigen die kleinſte Haltbarkeit und dieſe nimmt zu, je feinkörniger der Stab wird. Ganz feinkörnige, deren Bruch beinahe muſchlig iſt, kommen den faſrigen gleich. Soufflot (aus Karſtens Eiſenhüttenkunde I. p. 92) fand in Eiſenſtäben von groben, mittelfeinen und feinkörnigen Gefügen Log. Q = 3,24, 3,36, 3,53. Aus dem mittelfeinen wurden Stäbe geſchweißt, und ſie hatten je nachdem das Gefüge mehr oder weniger faſrig geworden war, 3,53, 3,62, 3,78. Ganz faſrige Stücke ſtiegen zuweilen auf 3,94.

Man kann den Einfluß des Gefüges am beſten am Eiſen erkennen, das wegen ſeines hohen Schmelzpunctes und der großen Spannkraft auf ſehr mannigfache Art abnorm werden kann und die Abnormität lange Zeit behält. Man findet im Eiſen zwei Extreme.

1. Verbranntes Eiſen von Log. Q = 3,4 und darunter.

2. Stahlähnliches Eiſen mit feinkörnigem, faſt muſchligem Bruche von Log. Q = 3,9 — 4,1.

Beide ſind zwar in den Beſtandtheilen etwas verſchieden, indem das erſte beinahe rein iſt, das zweite ½ — 1 p. c. Kohle enthält, aber in den Mittelſtufen findet man Varietäten, deren Kohlengehalt ganz gleich iſt, und die in ihrer Feſtigkeit dennoch eine große Verſchiedenheit haben, je nachdem das Gefüge mehr oder weniger grob oder feinkörnig oder faſrig iſt. Aehnliche Variationen

findet man in dem Roheisen und in etwas geringerem Grade auch bei andren Metallen.

§. 171. Auf das Gefüge und daher auch auf die Haltbarkeit haben außer dem Hämmern, Drahtziehen u. s. f. zwei Umstände einen entscheidenden Einfluß: die Temperatur der Bereitung und das Dasein von Beimengungen. In hoher Temperatur sind alle Körper gleichförmiger. Leicht schmelzbare Metalle sind homogene Gemische und schwer schmelzbare, wie Eisen, sind weniger abnorm. Je geringer daher die Veränderungen sind, welche ein Körper während des Abkühlens erleidet, desto gleichförmiger wird sein Gefüge in der gewöhnlichen Temperatur sein; die Anwesenheit fremder Stoffe hat auf die Geschmeidigkeit immer einen nachtheiligen Einfluß, die Haltbarkeit wird bald vermehrt, bald vermindert, aber wie diese Wirkung auch sein mag, sie hängt in hohem Grade von der Verbindungsart der beiden Bestandtheile ab.

§. 172. Man kann dabei drei Stufen unterscheiden (Einleitung §. 14).

1. Wo die Bestandtheile chemisch mit einander verbunden sind.
2. Wo sie physisch verbunden sind.
3. Wo sie bloß ein mechanisches Gemenge bilden.

Der erste Fall scheint bei dem Messing, bei gewissen Kupfer-Zinnlegirungen, beim Spiegeleisen einzutreten. Diese Körper verhalten sich ganz wie chemisch einfache. Der zweite Fall tritt bei den isomorphen ein, wenn sie außer einer nahen Verwandtschaft der Gestalt auch physisch und chemisch einander nahe stehen, z. B. Gold und Silber. Wo diese ein homogenes Gemisch bilden, ähnlich dem, welches im kohlensauren Kalke mit dem Eisen und Talk statt findet, ist ihre Festigkeit dem Anscheine nach von der der chemisch einfachen Körper nicht verschieden, und die Legirung hat eine Haltbarkeit, die zwischen der der Bestandtheile steht. Es ist jedoch möglich, daß die Legirung dieser beiden Metalle zuweilen oder zum Theil auch an einer mechanischen Verbindungen bestehe, wie z. B. kohlensauren Kalk und Talk sowohl gemischt als gemengt sein können, und dann gehören sie der dritten und am häufigsten vorkommenden Klasse an. In dieser ist der Körper nicht homogen und der Zusammenhang des einen Bestandtheils wird durch den andern gestört, selbst wenn dieser nur in kleinen Quantitäten vorhanden ist; daher auch der große Einfluß geringer Zusätze

auf die Haltbarkeit, wovon die Tabelle sehr viele Beispiele enthält. Die Sprödigkeit wird dadurch nebst der Haltbarkeit vermehrt, so daß die Legirungen oft eine beträchtlich größere Haltbarkeit haben, als die Bestandtheile. Wenn jedoch der Zusatz eine zu geringe Haltbarkeit hat, oder mit dem Hauptbestandtheile zu locker zusammenhängt, oder in zu großen Körnern vereinzelt ist, so leidet die Masse dadurch. Eisen wird schon durch 0,01 Phosphor spröde. Gold verliert durch 0,04 Zinn und nach einigen Angaben schon durch ½ Tausendstel Arsenik seine Hämmerbarkeit.

Einfluß der Abkühlung.

§. 173. Der große Einfluß, den die Art der Abkühlung auf der Festigkeit hat, entspringt aus verschiedenen Ursachen. Theils wird der Körper durch schnelles Abkühlen vor Veränderungen geschützt, die er während des langsamen Abkühlens annimmt. Theils wird durch das Abkühlen selbst die Veränderung hervorgebracht. In dem ersten Falle ist's jedoch nicht sowohl die Verminderung der Temperatur, als das längere Verweilen in hoher Temperatur, durch welche sich der Körper verändert. Bei einer geschmolzenen Legirung bilden die Bestandtheile in hoher Temperatur ein homogenes flüssiges Gemisch. In niedriger Temperatur scheidet sich ein Theil aus, wie aus einer in höherer Temperatur gesättigten Auflösung das Salz; aber das Metall schlägt sich nicht nieder, sondern bleibt, wie es auch bei den Amalgamen der Fall ist, mit der noch flüssigen Masse gemengt. Beim schnellen Erstarren der in hoher Temperatur geschmolzenen Massen trennen sich zwar die Bestandtheile, allein sie bleiben sehr fein durch einander vertheilt; beim schnellen Erstarren der in niedriger Temperatur geschmolzenen Legirungen ist die Masse ungleichförmiger; denn selbst wiederholtes Umrühren kann eine halbflüssige Auflösung nicht ganz gleichförmig machen. Geht aber das Erkalten langsam von Statten, so daß die Verbindung lange Zeit in einer hohen Temperatur verweilt, so scheiden sich die Bestandtheile die leichter erstarrenden krystallisiren zuerst aus, und bilden um so größere Krystalle, je langsamer die Abkühlung ist. Nachdem die Masse fest geworden ist, setzt sich die elementare Bewegung, jedoch wahrscheinlich in schwachem Grade fort, und in der Kälte ist die Legirung zu einem Gemenge geworden, das weit gröber ist, als wenn alle diese Processe durch schnelles Abkühlen

verhindert worden wären. Daß jedoch eine Verbindung durch ſchnelle Abkühlung chemiſch werden oder bleiben könne, die bei langſamem Kühlen mechaniſch wird, eine Anſicht, die oft ausgeſprochen wird, möchte ich bezweifeln, da die Chemie, die iſomeren Veränderungen ausgenommen, kein einziges zuverläſſiges Beiſpiel von Zerſetzung eines feſten Körpers in zwei andre, gleichfalls feſte Beſtandtheile darbietet; ſondern in beidrn Fällen iſt's ein mechaniſches Gemenge, das aber bei hoher Temperatur und ſchneller Abkühlung feiner und gleichförmiger vertheilt iſt.

§. 174. Wenn die höhere Temperatur auch nicht hinreicht, den Körper zu ſchmelzen, ſo wird er in ſeiner Feſtigkeit doch auf zwiefache Weiſe verändert. Erſtlich, indem die Feſtigkeit eine Function der Temperatur iſt; zweitens mittelbar, indem die Temperatur die Veränderung des Gefüges begünſtigt; dem Magnetismus eines geſättigten Magnetſtabes gleich, der in höherer Temperatur ſchwächer wird, theils bleibend, indem das Coercitivvermögen abnimmt, theils mit dem Aufhören der höheren Temperatur wieder hergeſtellt wird. Für die Verminderung der Haltbarkeit haben wir die Erfahrung der Arbeiter in allen Metallen, das Schweißen in höherer Temperatur, u. a. m. Einen unmittelbaren Verſuch haben Dufour und Macaire (Mém. de Genève 1823. II. p. 142) am Eiſendrahte angeſtellt, aber er führte zu keinem Reſultate. Denn das Temperatur-Intervall war nun etwa 100°, und die Abweichungen unter den Beobachtungen ſtiegen auf 0,06 der Haltbarkeit. Ueberdieſes iſt Eiſen unter allen Metallen am wenigſten zu ſolchen Verſuchen geeignet.

§. 175. Die Geſchmeidigkeit wird in höherer Temperatur, vornehmlich auf die zweite der oben genannten Arten, nämlich durch das Gefüge, beträchtlich größer, indem die Abnormität ab und das Kryſtalliniſche zunimmt.

Ein langes Verweilen in einer ſeinem Schmelzpuncte nahen Temperatur würde jeden Körper gleichförmig machen, aber auch eine viel kleinere Erwärmung reicht hin, um einen beträchtlichen Theil der Abnormität aufzuheben, und bei Körpern, die zu einer Entwicklung deutlicher Kryſtalle geneigt ſind, ein kryſtalliniſches Gefüge hervorzubringen. Dieſe Veränderungen des Gefüges werden durch die Abkühlung nicht aufgehoben, und eine ſtarke Verzögerung deſſelben ſcheint nur in ſo fern zu wirken, als dadurch di-

Dauer des Verweilens in einer höheren Temperatur etwas vermehrt wird. Wenn man daher von den Veränderungen, welche der Proceß des Abkühlens selbst hervorbringt, absieht, so müssen alle durch Bearbeitung abnorm gewordenen Körper durch Erhitzung und Abkühlen geschmeidiger und dadurch minder haltbar werden, und dieses um so stärker, je größer die Veränderungen sind, welche die Wärme hervorbrachte. Reicht sie hin, um den Körper fast ganz gleichförmig zu machen, so wird die Haltbarkeit des abgekühlten Drahtes ganz unabhängig sein von der des nicht geglühten. Dieses ist der Fall beim Kupfer (§. 111), in geringerem Grade auch bei Messing. Vermuthlich würde man es auch bei Zinn und Blei finden, wenn sie bis zu einer ihrem Schmelzpuncte nahen Temperatur erwärmte. Ist die durch Erwärmung aufgehobene Abnormität nur klein gegen die, welche übrig geblieben ist, so wird die Haltbarkeit immer in einem gleichförmigen Verhältnisse vermindert, und die Differenz zwischen dem geglühten und dem nicht geglühten Metalle ist constant, z. B. im Stahl (§. 126). Es sind dieses zwei Extreme. Gewöhnlich steht die Veränderung zwischen beiden, indem die Differenzen um so größer werden, je abnormer, spröder oder haltbarer das ungeglühte Metall ist. Niemals ist aber ein zuverlässiges Beispiel von einer Abnahme der Differenzen beobachtet worden.

§. 176. Aehnliche Beobachtungen hat man auch bei der Bestimmung der Grenze der Elasticität gemacht. Le Roy fand i. J. 1774, daß Stahldrähte, die mit Gewichten beschwert, nur 7 Minuten schwangen, gehärtet 50 Minuten schwingen konnten. Weiche nicht getemperte Federn schwingen nicht so lange als andre. Kupfer schwingt nicht so gut, wie Kupfer-Zink-Legirungen. Am besten ist Kupfer mit 0,25 Zink. Dasselbe haben Coulomb u. A. gefunden, und der Klang der Klavierdrähte hängt z. Th. von ähnlichen Umständen ab. Glühender Messingdraht tönt ganz schwach.

Die Veränderungen, welche die Abkühlung selbst hervorbringt, dürfen jedoch nicht immer vernachlässigt werden. Sie sind unabhängig von denen, welche die Wärme durch Elementarbewegungen hervorgebracht haben kann, und besteht nur in dem größern Volumen, welches die durch Wärme ausgedehnte Masse annimmt. Wenn alle Theile des Körpers sich gleich schnell abkühlen, und die Abkühlung selbst sehr langsam fortschreitet, tritt keine Abnormität ein. Aber sie wird um so stärker, je schneller und je weniger

gleichförmig sich der Körper abkühlt, d. h. je größer seine Masse im Verhältniß zu seiner Oberfläche ist. Dünne Drähte oder Bleche nehmen daher die durch schnelle Abkühlung verursachte Abnormität weniger leicht an, als dicke Stäbe und Platten, und Körper, die zu einer elementaren Bewegung mehr geneigt sind, wie Blei, Kupfer, Silber, werden nicht so leicht abnorm, als schwer Bewegliche, wie Eisen und besonders die Legirungen.

§. 177. Schnelles Abkühlen bringt also zwei verschiedene Wirkungen hervor.

1) Es vermehrt die Abnormität.

2) Es verhindert die Krystallisation und die Zersetzung der Legirungen.

Durch die erste Wirkung wird die Geschmeidigkeit vermindert, durch die zweite wird sie vermehrt.

Bei einfachen oder wenig gemengten Metallen, oder bei solchen, bei denen die innere Bewegung, welche während der Abkühlung eintritt, schwach ist, überwiegt die Abnormität. Sie werden sämmtlich durch schnelles Abkühlen spröder und wenn die Abnormität nicht zu stark ist, auch haltbarer. Bei Eisen und Glas sind sehr dünne Bleche und Fäden einer bleibenden Aenderung fast in demselben Grade fähig als größere Stücke.

Bei Körpern dagegen, wo während der Abkühlung eine beträchtliche Aenderung im Gefüge eintritt, z. B. bei den geschmeidigeren Legirungen von Kupfer und Zinn, halten sich beide auf die Geschmeidigkeit einwirkenden Ursachen mehr das Gleichgewicht. Ganz dünne Platten einer Legirung von Kupfer mit 0,12—0,25 Zinn werden nach Dufaussoy (Ann. Ch. Ph. 1817. V. p. 113 und 225.) durch schnelles Abkühlen geschmeidiger als durch langsames, indem die Krystallisation verzögert, die Abnormität unbedeutend ist. Erreichen die Legirungen eine Dicke von 80 Millim., so wird die Abnormität schon stärker und Stücke von 200 Millim. werden durch schnelles Abkühlen ganz spröde, indem die hier sehr beträchtliche Abnormität den Vortheil, den die Geschmeidigkeit durch die Störung in der Krystallisation und der Absonderung der beteiligten Bestandtheile erlangt, aufwiegt. Die Anwesenheit von Zink und Blei in den Kupfer-Zinn-Legirungen vermehrt die Wirkung der Krystallisation, und macht, daß sie schon bei einer geringeren Dicke überwiegt, als in reineren Legirungen. Bei diesen Legirungen ist es

auch, wo die Beschaffenheit der Gußform, sie sei Eisen, Sand oder Thon, und ihre Stellung, senkrecht oder horizontal, von großem Einflusse ist. Auf eine ähnliche, aber minder ausgezeichnete Weise verhält sich Gußeisen.

§. 178. Die Wirkung der Abkühlung ist besonders stark auf der Oberfläche. Schnell gekühltes Gußeisen, Glas, Porcellan, selbst unglasirtes u. a. m. sind auf der Oberfläche weit härter, als im Innern. Glastropfen und die zu den Farben der Licht-Polarisation geeigneten Glastafeln können nach Montanari, Seebeck und Brewster selbst mit dem Diamanten nur mit Mühe geritzt werden. Bei Stahl und Gußeisen widersteht ein Stab, der seine im Gusse erlangte Rinde beibehalten hat, den dehnenden und wahrscheinlich auch den biegenden Kräften mit beträchtlich größerer Stärke, als wenn die Rinde abgefeilt ist, und man hat beobachtet, daß ein transversaler Einschnitt in einen der Länge nach zu dehnenden Stab die Haltbarkeit in einem mehrfach größeren Verhältnisse verminderte, als die Verminderung des Querschnittes betrug.

Tragkraft und Dehnkraft.

§. 179. Ein ganz geschmeidiger Stab, der mit einem Gewichte beschwert, sich allmälig verlängert oder biegt, erlangt in Folge der elementaren Bewegung seiner Theile allmälig einen Zustand, wo diese, ohne zu zerreißen, keine bleibende Bewegung mehr annehmen können. Der Dehnraum, welcher anfangs ein Kleinstes war, nimmt stetig zu, und ist am größten bei der stärksten Spannung des Stabes, wo die Spannkraft und Haltbarkeit der Tragkraft selbst gleich sind. Je größer der Dehnraum ist, desto kleiner ist die Geschmeidigkeit des Körpers. Von ihr hängt auch das Tönen der Körper ab. Die Tonhöhe ist zwar nur an die Spannkraft oder die Belastung gebunden; der Klang aber hängt größtentheils von der Geschmeidigkeit ab; mit ihr nimmt auch das Dumpfe im Tone zu, und die Saiten haben den hellsten Ton, wenn sie fast bis zum Zerreißen gespannt sind. Geschmolzenes Eisen, Kupfer, Zinn, giebt nur dumpfe Töne, aber durch kleine Beimengungen spröde gewordener Stahl, Gußeisen, Kupfer-Zinn-Legirung oder Glas geben helle Töne. Geprägtes Silber hat einen hellen Klang, durch Glühen erweicht, einen matten. Für verschiedene Körper scheint $Q:\varrho$ einen

annähernder Maßstab für die Helligkeit des Tones zu sein. Perolle (Gilb. Annal. 1799. III. p. 168) giebt die Reihenfolge von dem am stärksten tönenden anfangend: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei. Blei wird zwar gewöhnlich für einen gar nicht klingenden Körper gehalten, aber schon Reaumur fand, daß es frisch geschmolzen, und daher anscheinend noch spröde und krystalliniſch, zum Tönen gebracht werden kann. Gehämmert klang es nicht. *)

Holz pflanzt den Schall, jedoch wahrscheinlich nur nach der Länge der Fasern, sehr intensiv fort. Haar, Seide u. s. f. besser, als gedrehter Bindfaden.

§. 180. Die Drähte, welche man zu beobachten pflegt, sind von beiden Extremen, den Zuständen der größten und der kleinsten Geschmeidigkeit, meistentheils weit entfernt. Aber auf die gewöhnliche Weise, durch abwechselndes Erhitzen und Ausziehen bereitet, haben sie einen Zustand erlangt, der einer der Modificationen entspricht, welche ein ganz geschmeidiger Draht hatte, wenn er allmälig durch Ausziehen ganz undehnbar geworden ist. Wenn daher die absolute Größe des Querschnittes keinen beträchtlichen Einfluß auf die Größe der Abnormität hat, so müssen beide Drähte in dem Momente, wo sie die größte, mögliche Dehnung erlangt haben, sich in demselben Zustande befinden, und die zum Reißen erforderlichen Gewichte, auf die Bruchfläche reducirt, einander gleich sein. Unter diesen Voraussetzungen ist also die Tragkraft für alle Drähte con-

*) In dem Versuche von Trevelian Lond. Ed. J. of Sc. 1833. Novemb. p. 321.) ist es nicht eine Oscillation innerhalb der Theile eines Körpers, wie in unsren musikaliſchen Instrumenten, sondern eines von den noch nicht häufigen Beispielen, wo der Ton durch eine Reihe von Schlägen zwischen verschiedenen Körpern entsteht. Der Block muß aus einer durch Wärme sich beträchtlich ausdehnenden Substanz bestehen. Der auf den Rauhheiten seiner Oberfläche halb schwebende Stab darf nicht zu geschmeidig sein. Die kleinen, durch die Abkühlung entstehenden Bewegungen der rauhen Oberfläche des Blockes bringen auch den Stab in Erschütterung. Wäre die Oberfläche glatt, so würde sich die relative Lage beider Körper durch Zusammenziehung nicht ändern, wäre der Stab zu geschmeidig, so würden die kleinen Stöße an Amplitudo zu schnell abnehmen. — Zuerst ist die Erscheinung von Schwarz (Gilbert Annal. 1806. XXII. p. 324) in mansfelder Hütten beobachtet. Forbes hat nächst Trevelian die besten Versuche angestellt (Edinb. N. J. of Sc. 1834. Jan. p. 183.); aber seine Erklärung verstehe ich nicht.

ſtant. Dieſes wird auch durch der Angaben unſrer Tabelle nicht nur für alle Drähte, ſondern auch für die meiſten geſchmiedeten oder gewalzten Stäbe, ſie mögen ſpröde oder geſchmeidig ſein, beſtätigt. Mit Ausnahme der ſehr ungleichförmigen haben alle Stäbe oder Drähte eine Subſtanz, wenn ſie bis zum Brechen gedehnt ſind, dieſelbe Haltbarkeit, oder die auf die Bruchfläche reducirte Haltbarkeit iſt conſtant. So iſt es im Eiſen und Stahl, ſo in andren Metallen. Nur muß man ſich dabei hüten, die durch den Act des Zerreißens ſelbſt hervorgebrachte Dicke mit derjenigen zu verwechſeln, welche ein Körper durch die das Reißen eben noch nicht bewirkende Gewichte erlangen würde. Denn ſehr geſchmeidige Körper endigen ſich an ihrer Bruchfläche in zwei gewöhnlich etwas abgeſtumpfte Pyramiden oder Prismen, deren Spitzen oder Schneiden ſich zugekehrt ſind und deren Baſis eben jene Fläche iſt, auf welche die Haltbarkeit zu reduciren iſt.

§. 181. Die Bruchfläche, die ſelten eben iſt, iſt ſchwer zu meſſen. Hätte der Stab eine überall gleichförmige Textur, ſo müßte, da das ſpecifiſche Gewicht durch die Abnormität nicht beträchtlich verändert wird, die Länge dem Querſchnitte immer verkehrt proportional bleiben, und dieſe ſich daher durch jene meſſen laſſen, die viel leichter zu beſtimmen iſt. Aber nach Verſuchen, die Lagerjhelm angeſtellt hat, iſt ſelbſt in ſehr gleichförmigen Stäben die Dehnung an verſchiedenen Theilen der Länge ſehr verſchieden. In der folgenden Tabelle enthält die letzte Rubrik den Querſchnitt nach dem Bruche, die vorletzte Rubrik die mittlere Länge des durch Dehnen zerriſſenen Stabes, die anfänglichen in beiden Fällen = 1 geſetzt. Die erſte Rubrik (m) iſt die Ausdehnung eines Stückes in dem 2 Meter lange Stäbe, wenn die kleinſte Ausdehnung = 1 geſetzt wird. Je gleichförmiger der Stab, deſto kleiner iſt m.

	m	Verlängerung.	Querſchnitt.
Engliſch, beſte Sorte	1,49	1,180	0,501
Schwediſch, gewalzt, gegärbt	1,35	188	567
„ „ ungegärbt	2,35	220	397
„ geſchm., gegärbt	4,75	088	503
„ „ ungegärbt	8,30	051	683

Lagerjhelm giebt p. 165 ſeines Werkes eine Regel, die man folgendermaßen ausdrücken kann: $dr\ ds\ dz$ ſind der urſprüngliche

Durchmesser, der im Moment, wo die bleibende Aenderung eintritt (Dehnraum), und der nach dem Reißen gefundene Durchmesser; C eine von der Varietät unabhängige Constante: so sei

$$(d_1 - d_3)\,(d_1 - d_2)^2 = d_3\,C.$$

Diese Formel kann jedoch nur für enge Grenzen gültig sein. Bei ganz spröden Stäben, wo $d_1 = d_3$, würde sonst $d_1 - d_2 = \infty$ sein müssen.

§. 182. Kleine Beimengungen, wenn sie nur nicht zu ungleichförmig vertheilt sind, haben, so beträchtlich sie auch die Haltbarkeit vermehren, auf die Tragkraft keinen bedeutenden Einfluß. Der Stahl ist haltbarer als alles geschmeidige Eisen; aber dem auf's Maximum ausgezogenen Eisendrahte nach den Eisenstäben der Tragkraft ist der Stahl nicht überlegen. Auch bei andren Substanzen finden sich Beispiele in der Tabelle, so daß das Maximum der Haltbarkeit oder die Tragkraft in dem reinen, aber stark gezogenen Metalle und in dem durch schwache Beimengungen spröde gewordenen nur wenig von einander abweichen. Die Beschaffenheit des zugesetzten Metalles ist dabei ohne beträchtlichen Einfluß, wenn nur die ihm eigenthümliche Tragkraft nicht zu klein ist. Platin und Platinmetalle, Silber, Mangan, Kohle, Silicium bringen auf das Eisen fast dieselbe Wirkung hervor; sie machen es zu einem sehr haltbaren, aber einer bleibenden Aenderung ohne neue Erhitzung wenig fähigen Stoffe.

Es sind also in einem jeden Körper zwei Cohäsions-Momente beinahe unabhängig von der Bereitungsart und kleinen Beimengungen, die Spannkraft und die Tragkraft. Diesen kann man noch die Haltbarkeit und die Dehnkraft beifügen, welche der vollkommen normale Krystall haben würde. Die verschiedenen Varietäten einer Substanz unterscheiden sich also nur in der Stellung, welche die Haltbarkeit und die Dehnkraft zwischen jenem Maximum und Minimum einnehmen. In dieser Stellung besteht die Geschmeidigkeit.

§. 183. Die Geschmeidigkeit kann zwar in keinem Körper so groß sein, daß Dehnkraft und Dehnraum $= 0$ sind, sie würden sonst unter ihrem eignen Gewichte einsinken müssen; aber in Spinnfäden, Blei und ähnlichen Stoffen ist sie sehr groß. Ein Bleidraht von 1,7 Millim. Dicke und 1 Meter Länge erlangt schon bei einer Torsion, die 200° übersteigt (Robison), eine bleibende Aenderung; aber Bleidraht ist nach §. 115 schon beträchtlich weniger geschmei-

dig als geſchmolzenes Blei. Ein Spinnfaden hat zwar gar keinen merklichen Widerſtand gegen Torſion; er reißt jedoch, wenn man einen 0,1 Meter langen Faden 2 — 3000 mal um ſeine Achſe dreht, ein Beweis, daß er abnorm geworden iſt; auch folgt dieſes ſchon aus der Krümmung des Fadens, wenn er von einer horizontalen Stütze frei herabhängt. Selbſt Pfeifenthon, obgleich ein halbflüſſiger Körper, kann 1 Meter lang, 1,3 Millim. dick um 35° ohne bleibende Ablenkung gedreht werden.

Dagegen kann die Geſchmeidigkeit zuweilen = 0 ſein. Dieſes der Fall in Körpern, welche auf das Maximum gedehnt oder gebogen ſind, wenigſtens in Beziehung auf jede in derſelben Richtung wirkende Kraft. Bei den meiſten nicht metalliſchen Körpern iſt die Geſchmeidigkeit dem Anſcheine nach ſogar in Kryſtallen = 0. Eben ſo im Glaſe, das als dünner Faden um ſeine Achſe gedreht, nach Ritchie niemals eine bleibende Aenderung annimmt, ſondern entweder auf den frühern Stand zurückkehrt oder zerbricht. Daß dieſes jedoch nicht ganz der Fall iſt, geht aus der Aenderung im Volumen der Thermometerkugeln hervor (§. 69).

§. 184. Egen und Kamarſch (jener in ſ. Unterſuchungen über die Effecte der Waſſerwerke p. 131, dieſer in der erſten der beiden §. 100 erwähnten Abhandlungen) haben die Geſchmeidigkeit der Drähte durch die Kraft, welche zum Drahtziehen erforderlich war, gemeſſen. Aus Kamarſch's Verſuchen über einige ohne Glühen gezogene, alſo ziemlich ſpröde Metalle durch Löcher von gleicher Weite, habe ich Folgendes berechnet: 1, 3, 5, 7 bedeutet die Kraft, die bei dem 1ſten, 3ten, 5ten und 7ten Drahtloche nöthig war, die Kraft, die bei dem erſten ſtatt fand, = 1 geſetzt. Die abſoluten Kräfte, die beim Stahl beobachtete = 1 genommen, enthält die letzte Spalte.

	1	3	5	7	abſol.
Stahl	1	1,04	0,92	0,61	1,00
Eiſen	1	04	0,91	0,61	0,88
Meſſing	1	10	1,00	0,70	0,77
Kupfer	1	13	1,00	0,80	0,51

Es ſcheint alſo, daß verſchiedene Körper beinahe daſſelbe Verhältniß beobachten, Stahl und Eiſen ſogar beinahe ein identiſches. Aber die Ungewißheit über die Stufe, welche die Drähte bereits in ihrer Abnormität erreicht haben; denn bei geſchmeidigem Drahte iſt die

Kraft kleiner; und über die Geschwindigkeit des Ziehens machen es unmöglich, aus diesen Versuchen und aus denen, welche Egen mit Eisendrähten von verschiedener Dicke angestellt hat, mit einiger Sicherheit ein Resultat abzuleiten. Das Verhältniß, um welches die Dicke eines Drahtes durch einmaliges Ziehen verändert werden kann, ist durch die Erfahrung höchstens = 0,15 gesetzt; zuweilen darf man nicht über 0,03 nehmen.

Vergleichung der Festigkeit verschiedener Körper gegen einander.

Haltbarkeit und Tragkraft.

§. 185. Die Tragkraft, die von Zufälligkeiten fast unabhängig ist, und die Haltbarkeit der geschmeidigsten Varietät, die mit der mittleren Haltbarkeit des normalen Krystalles zusammenfällt, sollten als wichtige Charaktere der Species (Elasticität der Festen §. 47) genau bestimmt werden; aber zu genauen Resultaten fehlen die Materialien noch gänzlich. Man müßte die Haltbarkeit von zwei Stücken derselben Substanz bestimmen, von denen der eine in der höchsten Temperatur, die er ohne Formänderung und ohne sich in Krystalle zu verwandlen, annehmen kann, längere Zeit erhalten und sehr langsam abgekühlt wird, und der andre durch Drahtziehen oder auf eine andre gleichförmig wirkende Art abnorm gemacht ist. Aber dieses ist noch bei keinem einzigen Körper geschehen. Von dem Eisen, das man noch am genauesten untersucht hat, kennt man nur das Maximum; aber um das Minimum der Haltbarkeit zu erlangen, war in dem Drahte die höhere Temperatur weder intensiv noch dauernd genug. Bei den übrigen Körpern ist die Ungewißheit noch größer. Indessen habe ich aus den vorhergehenden Tabellen die Maxima und Minima, so genau es möglich war, ausgezogen, wobei natürlich vereinzelte und unzuverlässige Beobachtungen nicht berücksichtigt wurden.

§. 186. Um Wiederholungen zu ersparen, habe ich statt der Logar. die Zahlen gesetzt. Max. und Min. beziehen sich auf die Haltbarkeit; jenes ist der Tragkraft gleich. Geschm. bedeutet das Verhältniß beider, d. h. (Max. — Min. : Min.) Wo bloß eine Zahl steht, ist es unentschieden, ob sie Max. oder Min. ist. Sie kann als die mittlere Haltbarkeit des unter gewöhnlichen Umständen bereiteten

Stoffes angesehen werden. Ich habe die Anordnung gewählt, welche Elasticität der Festen §. 51 statt findet.

Metalle.	Atmosphären Max.	Min.	Geschm.	
Stahldraht	11750	5930	0,97	Derselbe Draht. §. 126.
Stahlähnl. Klaviersaite	13030	4860	1,68	„ „ „ 125.
Eisendraht	12685	3320	2,03	„ „ „
Stahlstab	9140	—	—	§. 132.
Stabeisen, weich	8340	3050	1,74	„ 130. Max. ist zu klein u. Min. zu groß.
„ hart	12450	6590	0,89	§. 131.
Platina	4020	2180	0,84	§. 102. Min. viel zu groß u. Max. wahrscheinl. zu klein.
Kupfer	5153	1585	2,25	„ 111.
Gußeisen	1260	—	—	„ 133. Dehnen.
„	3330	—	—	„ 134. Biegen, unsicher
Messing	8040	3650	1,25	„ 113. Min. zu groß.
Zink	1580	—	—	„ 124.
Silber	4020	1746	1,30	„ 106.
Gold	3520	1377	1,55	„ 103.
Gold = Silber = Kupfer	8950	5540	0,62	„ 105.
Silber = Kupfer	7450	3190	1,33	„ 107.
Kadmium	708	—	—	„ 124.
Zinn	417	251	0,66	„ 120. Max. zu klein
„ mit Wismuth	1070	—	—	„ 122. Alle diese Ver-
„ „ Zink	871	—	—	„ 123. bindungen
„ „ Antimon	813	—	—	„ 121. enthalten
„ „ Kupfer	708	—	—	„ 112. 88—90 p. c.
„ „ Blei	692	—	—	„ 118. Zinn.
Blei	213	162	0,69	„ 115.
„ mit Antim. oder Zinn	631			„ 116 u. 118.
Hanffäden	6270	der Länge nach verklebt. §. 135.		
Darmsaiten	4070	die dünnsten. §. 137.		
Leder	3980	§. 186.		
Coconfaden	2660	auf Bruchfläche reducirt vermuthlich bedeutend größer. §. 136.		
Holz	347	—1590. §. 149 ff.		
Marmor	136	§. 135.		

§. 187. Die organischen Fasern stehen also den festesten Metallen an Haltbarkeit nicht sehr nach, und wenn man, wie in der Spannkraft (Elasticität der Festen §. 54), die specifische Halt-

barkeit verschiedener Körper mit einander vergleicht, so finden sich die Fasern, die weder durch Kunst, wie in den Seilen, noch durch organische Processe, wie im Holze, dem gröbern Leder und in Darmsaiten, durch Krümmung geschwächt sind, sogar dem Eisen beträchtlich überlegen. Die Natur hat also die Organe aus den festesten und dabei geschmeidigsten Stoffen der Erde construirt. Perpendiculär auf die Fasern sind sie zwar leicht zu trennen, und vielleicht hat selbst die einzelne Faser in dieser Richtung eine schwache Haltbarkeit; allein der Widerstand, den sie zu leisten haben, wirkt auch fast ausschließlich in der Länge.

§. 188. Die Zahlen der letzten Rubrik, die aus einzelnen von den Extremen mehr oder weniger entfernten Beobachtungen abgeleitet sind, bieten nur eine entfernte Annäherung dar; aber sie stimmen doch darin überein, daß sie bei den am meisten und bei den am wenigsten haltbaren Körpern am kleinsten sind, bei Blei und Zinn, wie bei Stahl und Platina. Bei jenen wird nämlich die durch Bearbeitung entstandene Abnormität von selbst schnell zerstört. Bei diesen wird die entstandene durch das Glühen nicht wieder beseitigt. In weichem Eisendrahte, wo sie leichter hervorgebracht und wol durch Wärme aber nicht von selbst in gewöhnlicher Temperatur verloren geht, ist sie sehr stark. In den Legirungen, die eine mechanische Verbindung sind, und in den nicht metallischen Körpern würde die Geschmeidigkeit, wie sie in der Tabelle aufgefaßt ist, fast $= 0$ werden.

Härte.

§. 189. Die Tabelle beschränkt sich auf wenige und meistens abnorme Substanzen. Die Härte aber, auch eine von der Festigkeit abhängige Eigenschaft (Krystallkunde §. 80), ist bei den natürlichen Krystallen so genau beobachtet worden, als es die Hülfsmittel zuließen, und würde, auf die natürlichen Krystalle ausgedehnt, uns zwar keinen quantitativ genauen Maßstab der Festigkeit geben, aber doch eine Kenntniß von der Reihefolge der Körper in Beziehung auf die Härte. Da die Geschmeidigkeit meistentheils sehr gering ist, so würde die Härte der Tragkraft fast proportional sein. Um nicht durch die im Krystall ungleichförmige Härte zu Irrthümern verleitet zu werden, muß man sich da, wo die Unterschiede nicht ganz entscheidend sind, auf isomorphe Gruppen beschränken.

Man kann dadurch sogar einigen Aufschluß über die Härte solcher Körper erlangen, die nicht unmittelbar beobachtet werden können. Kalk und Bleioxyd oder Calcium und Blei können nicht unmittelbar verglichen werden; fände man aber, daß in allen Verbindungen, wo Calcium und Blei vicariiren, die Kalkverbindung eine größere Härte hat als die Blei-Verbindung, so würde man Calcium für härter halten müssen als Blei. Man findet in der That auf diese Weise bei den verschiedensten isomorphen Gruppen fast durchgängig dieselbe Reihefolge der Härte, z. B. Blei härter als Kalk, sowohl in der Aragonit- als in der Apatitgruppe. Verbindet man nun auf die oben bei der Isomorphie angewendete Art (Krystallkunde §. 48) die verschiedenen Reihen mit einander, so findet sich, indem man von dem härtesten beginnt:

Al; Cr; Fe und Co; Ni.
Zn; Mg; Mn und Fe; Ca; Ba, Sr und Pb.
Fe; Pt u. Pal; Ag, Au und Cu; Bi.
As und Sb; Te; Pb.
Cu; Ca.
As; Pb.
Na; Ka?
Se; S.

Ich gebe diese Reihe nicht der Resultate wegen, die aus Mangel an Beobachtungen nicht ganz zuverlässig sind; sondern nur als Beispiel eines Verfahrens, das, so lange unsre Mittel, die Festigkeit zu messen, so beschränkt sind, nicht zu verschmähen ist, und auf alle wichtigen künstlichen Krystalle angewendet zu werden verdient.

§. 190. Musschenbroek beschreibt Introd. ad Cohaer. p. 671 einige Versuche über die Härte, indem er einen Keil von einer gewissen Höhe auf verschiedene Körper, die etwa 4 Mm. lang und breit waren und eine constante Dicke hatten, fallen ließ und die Anzahl der Schläge beobachtete, die erforderlich waren, um sie zu zerbrechen. Er findet die Reihefolge: Eisen, Messing, Ducatengold, holländisch Silber, Kupfer, Zinn, Blei. Das zu hoch gestellte Gold ausgenommen, ist es die Reihe der Haltbarkeit.

§. 191. Bei der Vergleichung zweier Körper muß man nicht denjenigen immer für härter halten, der den andern ritzt; denn nicht

selten ritzen zwei Körper sich wechselseitig, die Spitze oder Schneide auf der Fläche des andren. Auch wird eigentlich jeder Körper, der einen andren ritzt, von diesem wieder beschädigt. Der härteste Stahl wird durch Papier oder Zinn abgenutzt. Man kann auch mit weichen Körpern einen harten durchschneiden; mit weichem Eisen oder Kupfer, das schnell auf und ab oder in einem Kreise bewegt wird, den Stahl. Denn wenn die ganze Peripherie einer Kupferscheibe stets über dieselbe Stelle Stahl hingeht, so kann die Wirkung des wechselseitigen Stoßes weit früher in dem Stahl, als in dem Kupfer bemerklich werden. Dazu kommt noch, daß der Stahl beträchtlich erhitzt und dadurch enthärtet, die Kupferscheibe dagegen durch den Stoß immer mehr gehärtet wird. Schweigg. Journ. XLIII. und XLVII. sind die meisten Beobachtungen über diese paradoxe Erscheinung zusammengestellt. Sie rühren von Barnes, Perkins, Dolittle, Darier und Colladon her.

Specifisches Gewicht.

§. 192. Von der Größe des Dehnraumes und der Beweglichkeit der Theile im Innern des Körpers sind die Veränderungen, welche ohne Unterbrechung der Textur im specifischen Gewicht hervorgebracht werden können, abhängig. Sie sind um so größer, je größer jener und je kleiner diese ist. In einem durch ein Gewicht gedehnten Körper wird das specifische Gewichte, so lange die fremde Kraft wirkt, vermindert; bei einem gebogenen wird das Gewicht auf keine merkliche Weise geändert. Wenn man nun einen gedehnten und einen gekrümmten Stab so auf einander befestigt, daß sie einander das Gleichgewicht halten, so ist das specifische Gewicht dieses Systems kleiner als in normalem Zustande. Auf eine ähnliche Weise kann man durch Hämmern, Ziehen u. s. w. das specifische Gewicht verändern.

§. 193. Dehnen verändert das specifische Gewicht. Lagerhjelm fand das specifische Gewicht in 3 ganz gleichen Stücken Stabeisens, von denen das eine durch Dehnen keine bleibende Veränderung erlitten hatte, das andere ausgedehnt war, aber von dem Bruche selbst noch nicht gelitten hatte, das dritte endlich aus der unmittelbaren Nähe der Bruchfläche genommen wurde, im Medium von je zwei Stücken:

ungedehnt	7,8188 hart;	7,8237 weich.
gedehnt, aber nicht zerriſſen	8010	7478
zerriſſen	7837	7718

alſo in dem weichen Eiſen eine ſehr ſtarke Verdünnung durch Dehnen, die aber durch den Act des Zerreißens ſelbſt etwas abnahm.

In zwei ganz gleichen Stücken Eiſen; das eine in möglichſt hoher, das andre in möglichſt geringer Temperatur geſchmiedet beobachtete ſand Mitis 7,804 (hohe Temp.) und 7,892 (niedrige Temp.)

Das ſpec. Gew. des Eiſens und Stahls unter verſchiedenen Umſtänden hat ſchon Montanari in den Spec. fis. genau beobachtet.

Duſſauſſoy fand in den geſchmolzenen Kupfer-Zinn-Zink-Legirungen ein ſpecifiſches Gewicht von 8,32—8,52. Dieſes = 1 geſetzt, das ſpec. Gew. eines ſtark gehämmerten Stücks = a, eines gehämmerten und angelaſſenen = b, ſo ergab ſich

100 Kupfer und 11 Zinn	a) 1,043	b) 1,027
„ „ 14	40	26
Meſſing	60	47
100 Kupfer, 21 Zink, 4 Zinn	55	33

Schnell gekühlt ungefähr 0,01—0,02 leichter als langſam gekühlt. Das Anlaſſen hob alſo ungefähr $^2/_3$ der Abnormität auf.

Das allſeitige Hämmern iſt jedoch der Verdichtung lange ſo günſtig nicht, als das Drahtziehen und das Prägen. In jenem Falle wird das Metall zwar durch das Ziehen etwas verdünnt; aber der ſtarke Querdruck, den es in den Drahtlöchern erleidet, überwiegt ſo ſehr, daß die Dichtigkeit nach wiederholtem Ziehen meiſtentheils beträchtlich zugenommen hat. Wird eine gewiſſe Grenze überſchritten, ſo nimmt die Dichtigkeit zuweilen wieder ab, weil in dem dünner gewordnen Drahte die innere Bewegung vielleicht ſchneller von ſtatten geht. Beim Prägen iſt die Kraft ſo ſtark, daß man, wenn es einige Male wiederholt wird, wahrſcheinlich den höchſten Werth erlangt.

§. 194. Einige vergleichende Verſuche über die Zunahme, welche das ſpecifiſche Gewicht in Metallen durch Hämmern und Drahtziehen erlangen kann, haben Briſſon und Muſſchenbroek angeſtellt. Briſſon wog nämlich erſt das geſchmolzene und dann das ſo ſtark gehämmerte oder gezogene Metall, daß ein weiteres Ziehen die Zunahme nicht vermehrte. Dieſe konnte zwar auch von Poren herrühren, welche durch Hämmern kleiner und ſelbſt zerſtört werden können; aber da man ſogar in dem ſo ſpröden Glaſe,

wenn es erstarrt ist, nur äußerst selten Höhlungen wahrnimmt, so ist ihr Dasein in dem geschmeidigeren und die Wärme besser leitenden Metalle nicht wahrscheinlich. Man kann daher die Veränderungen des specif. Gew. als das Resultat der Abnormität ansehen.

Blei und Eisen erlangen keine merkliche Gewichtszunahme.

Zinn $^1/_{700} - ^1/_{900}$.

Gold, chemisch rein, $^1/_{186}$; mit 0,09 Kupfer $^1/_{170}$; mit 0,20 Kupfer $^1/_{239}$; mit 0,14 Kupfer durch Prägen $^1/_{71}$.

Silber, chemisch rein, $^1/_{288}$; mit 0,39 Kupfer $^1/_{51}$; durch Prägen $^1/_{28}$, als Draht $^1/_{47}$.

Kupfer etwa $^1/_{200}$, als Draht $^1/_7 - ^1/_8$.

Musschenbroek's Angaben stimmen in der relativen Größe der Veränderungen mit Brisson's im Allgemeinen überein; insbesondre was die sehr hohe Zahl bei Kupfer betrifft. Seine Werthe sind jedoch sämmtlich größer.

§. 195. Also auch hier sind es die beiden an den entgegengesetzten Enden der Elasticitäts- und Festigkeits-Reihe stehenden Metalle, welche einander gleich und der Veränderungen im specifischen Gewichte am wenigsten fähig sind; aber aus sehr verschiedenen Ursachen. Das Eisen ist wahrscheinlich schon durch seine Bearbeitung auf ein von dem Maximum wenig entferntes specifisches Gewicht gekommen, welches durch weiteres Hämmern zwar noch ein wenig vermehrt, aber auch vermindert werden kann. Das Blei dagegen nimmt wegen seiner elementaren Beweglichkeit, die Abnormität nur in einem schwachen Grade an, und kann bloß dadurch eine Vermehrung des specifischen Gewichtes erlangen, wenn man es zwischen zwei Platten hämmert und wahrscheinlich auch, wenn man es prägt; durch Hämmern und Drahtziehen wird es sogar noch etwas leichter. Sprünge sind bei dem so geschmeidigen Metalle wol nicht anzunehmen. Wir sind aber auch gar nicht berechtigt, das Minimum des specifischen Gewichtes, das in einem Körper von stetiger Textur beobachtet werden kann, für das normale zu halten, sondern die Verminderung ist eben so gut möglich und verlangt dieselbe Kraft als die Vermehrung und tritt bei raschem Abkühlen und bei Abnormitäten wie die im §. 192 angeführten immer ein.

§. 196. Die Tabelle des §. 186, wo die Körper nach der Größe ihrer Spannkraft geordnet sind, giebt auch ziemlich die Reihenfolge der Tragkraft, und die Beobachtungen schließen sogar die

Möglichkeit nicht aus, daß Tragkraft und Spannkraft einander proportional sind. Die Größe der kleinsten Haltbarkeit, der kleinsten Dehnkraft und der übrigen von der Geschmeidigkeit abhängigen Eigenschaften im Körper sind noch weniger zuverlässig bestimmt, als die Tragkraft. Indessen hat es, nach dem, was ich in den vorhergehenden Paragraphen angeführt habe, den Anschein, daß sämmtliche Cohärenz-Erscheinungen im Körper abhängig sind von der Spannkraft, der Tragkraft und der Dehnkraft der Species in Verbindung mit dem einer Varietät angehörigen Gefüge. Wenn es sich bestätigen sollte, daß die Tragkraft eine Function der Spannkraft ist, so werden sie alle auf Spannkraft und Tragkraft reducirt werden können, und diese in Verbindung mit der Krystallform und dem specifischen Gewichte die Species vollständig charakterisiren.

Vierter Abschnitt.

Anziehung heterogener fester Körper.

I. Adhäsion und Reibung.

§. 197. Dieselben Kräfte, welche im Innern der festen Körper wirken, halten auch die Theile an einander, welche vorher unverbunden, mit einander in Berührung kommen.

Leichte Stoffe, Staub von Erden, Rauch von Kohle, Feilstaub von Metall, hangen an einander und andre feste Körper mit einer Kraft, die ihr eigenes Gewicht sehr überschreitet. Zwei Platten fester Körper, sie mögen aus einer homogenen oder heterogenen Substanz bestehen, lassen sich, wenn sie einmal in Berührung sind, nicht ohne eine gewisse Kraft von einander trennen. Nägel oder Keile werden durch diese Anziehung festgehalten. Zwei Drähte oder Fäden, die um einander gewickelt sind, haften so stark an einander, daß man sie leichter zerreißt als von einander trennt, und man sich des Windens bedient, um kurze Fäden zu einem längern und dickern zu vereinigen, z. B. beim Spinnen, Weben. Die Adhäsion wird in diesem Falle durch den Druck vermehrt; denn die Fasern werden in einem durch Feuchtigkeit geschmeidiger gewordenen Zustande um einander gelegt und trocken geworden drücken sie vermöge ihrer Elasticität auf einander.

Man kann diese Adhäsion auf zweifache Weise beobachten:

1) durch das Gewicht, welches erforderlich ist, um zwei sich berührende Platten von einander zu trennen, wie bei den Adhäsionsplatten der Flüssigkeiten.

2) Durch die Kraft, die zum Fortschieben zweier Platten auf einander nöthig ist.

§. 198. Auf die erste Weise hat Prechtl die Anziehung zu bestimmen versucht (Pogg. Annal. 1829. XV. 223). Zwei homogene Metallplatten von etwa 39 Millim. Durchmesser hafteten an einander mit den Kräften

Kupfer	21;	Wismuth	16;	Blei	12:
Zinn	17;	Antimon	15;	Zinn	10.

Jede Einheit bedeutet 73 Milligramme. Für heterogene Metalle soll dabei das Gesetz statt finden, daß die Anziehung eines jeden Metalls mit einem andren, in der Reihe tiefer stehenden, dem mit dem homogenen Metalle gleich sei. Wismuth z. B. würde mit Antimon, Blei und Zink 16 Gewichtstheile zusammenhangen, mit Kupfer und Zinn dagegen 21 und 17 Theile. Prechtl sagt selbst daß er die Versuche nur einmal angestellt habe. Aber sogar die Versuche mit Adhäsionsplatten bei Flüssigkeiten, die größere Anziehungen geben, und kleineren Schwierigkeiten unterworfen sind, müssen, um annähernd genaue Resultate zu geben, sehr oft wiederholt werden. Er sagt ferner, daß er ganz deutlich eine Anziehung wahrgenommen habe, selbst wenn die Patten noch einen Millim. von einander entfernt waren, was zuverlässig auf einem Irrthume beruht. Wenn es überhaupt möglich sein sollte, die Adhäsion zwischen festen Körpern auf diesem Wege kennen zu lernen, so muß man auf vollkommene Reinheit und Trockenheit der Oberflächen, auf den Druck und auch auf die Dauer der Berührung achten. Faraday hat bei Platinplatten beobachtet, daß sie weit stärker an einander haften, wenn sie so rein waren, daß sie den Wasserstoff mit dem Sauerstoff verbinden konnten, als bei gewöhnlichen durch Liegen an der Luft minder rein gewordenen Oberflächen, (Siehe Cohärenz der Flüssigen §. 199) Auf den Einfluß der Zeit weisen einige Beobachtungen bei der Reibung hin. Mit dem Drucke nimmt die Zahl der Berührungspuncte, und daher auch die Stärke der Anziehung zu. Zwei glatte

Bleiplatten, die loſe auf einander geſtellt wurden, kann man durch eine gegen ihre Schwere verſchwindende Kraft von einander trennen; ſind ſie dagegen auf einander gedrückt, ſo beträgt die Kraft mehrere Atmoſphären. Daſſelbe iſt der Fall bei heterogenen und geſchmeidigen Metallen, und bei vielen nicht metalliſchen Körpern bald in gewöhnlicher, bald in einer erhöhten Temperatur.

§. 199. Wenn zwei Körper auf einander hingleiten, iſt ein doppelter Widerſtand zu überwinden:

1) Die mechaniſche Reibung, die von den Uuebenheiten der ſich berührenden Oberflächen herrührt.

2) Die cohäſive Reibung, welche eine Folge der Anziehung iſt, und einen um ſo bedeutenderen Theil der ganzen Reibung ausmacht, je glätter die Oberflächen beider Körper ſind.

§. 200. Die Unhebenheiten werden überwunden, indem der ſich bewegende Körper ſie entweder fortreißt oder über ſie weggeht. In beiden Fällen iſt der Widerſtand der Oberfläche proportional. In beiden nimmt er auch mit dem Drucke zu; allein dem Anſcheine nach nicht auf ganz gleichförmige Weiſe. Bei den Rauhheiten, über welche die Bewegung fortgeht, bleibt der Verluſt dem Drucke proportional; aber da, wo ſie fortgeriſſen werden, muß der Widerſtand in einem kleinern Verhältniſſe zunehmen als der Druck, weil der Körper, ſobald ſein Bewegungsmoment die zum Abreißen einer Unebenheit erforderliche Größe überſchreitet, gar kein Verluſt mehr dadurch erleiden kann. Ueberdieſes muß die verhältnißmäßige Anzahl der Unebenheiten, welche auf die zweite Art überwunden werden, um ſo mehr ſteigen, je größer die Kraft iſt. Wenn der Widerſtand dem Drucke und der Oberfläche genau proportional wäre, ſo würde es gleichgültig ſein, ob man eine gewiſſe Laſt auf eine ſehr kleine oder ſehr große Fläche legt. Man müßte, um die Bewegung zu erzeugen, oder gleichförmig zu erhalten, in beiden Fällen dieſelbe Zugkraft anwenden, oder wenn der ruhende Körper eine ſchiefe Ebene iſt, ſie um denſelben Winkel neigen. Im Falle aber der Widerſtand etwas abnimmt, wenn der Druck ſteigt, ſo wird ein Körper durch die mechaniſche Reibung um ſo weniger leiden, je ſchmaler die Berührungsflächen ſind.

Wie der Druck verhält ſich die Geſchwindigkeit; der Widerſtand wird in einem etwas kleinern Verhältniſſe zunehmen, als die Geſchwindigkeit.

§. 201. Die Anziehung, welche zwischen den sich berührenden Körpern statt findet, ist ebenfalls der Oberfläche proportional und nimmt mit dem Drucke zu, weil mit ihm auch die Anzahl der sich berührenden Puncte steigt. Bei der Anziehung tritt aber noch der eigenthümliche Umstand hinzu, daß die Kraft, welche erforderlich ist, um einen Körper in Bewegung zu setzen, mit der Zeit, in der die Körper über einander lagen, beträchtlich wächst. Die elementare Bewegung, welche hier eben so gut statt findet, als bei Aggregaten poröser Körper, strebt auch hier, eine innigere Verbindung zu erzeugen, und je weiter sie vorgeschritten ist, desto größer wird die zum Losreißen nothwendige Kraft. Dieses kann auch auf die Function zwischen der Geschwindigkeit und der cohäsiven Reibung von Einfluß sein; in welchem Grade läßt sich jedoch nicht bestimmen; wie es überhaupt noch nicht möglich gewesen ist durch die Theorie die verschiedenen bei der Reibung vorkommenden Elemente zu unterscheiden, und die Erfahrung giebt nun einen Totaleindruck von allen. Diese bestätigt jedoch die angegebenen Regeln und zeigt, daß die Reibung unter allen Umständen um so constanter wird, je glätter der Körper ist und je mehr die cohäsive Reibung überwiegt.

In der Praxis sucht man die Reibung durch einen halbflüssigen Körper, die Schmiere, zu vermindern. Hier sind die Erscheinungen noch complicirter. Wenn, wie man vermuthen könnte, bloß die Theile der Schmiere über einander fortgleiten, so müßten die verschiedenen Körper mit einer Schmiere dieselbe Reibung haben. Dieses ist jedoch der Fall nicht. Man hat also außer der Cohärenz der Schmiere auch noch die Adhäsion derselben an den festen Körper zu berücksichtigen. Der Widerstand, obgleich in seinem absoluten Werthe beträchtlich kleiner, befolgt jedoch dieselben Gesetze, als bei dem Conflict von bloß festen Körpern.

§. 202. Ueber den Einfluß der Temperatur auf die Adhäsion sind mir nur einige Beobachtungen bekannt, die der Oberlehrer Gebauer in Breslau gemacht und mir gezeigt hat. In einem kalten Tiegel oder Löffel von Platina oder Glas wird ein feines Pulver sich nur schwach bewegen, wenn man das Gefäß neigt, ist dieses aber erhitzt, so bewegt sich das Pulver fast ohne Reibung, beinahe wie ein flüssiger Körper. Es gelingt bei Kupfer und Eisenoxyd, bei reiner Kieselerde, Kalk, geröstetem und dann zerriebenem Eisenvitriol und wahrscheinlich bei den meisten feinen und

trockenen Pulvern. Selbst große Salmiakstücke bewegen sich in heißen Gefäßen fast ohne Reibung, jedoch könnte dieses von der Sublimation herrühren; denn bis jetzt ist es noch nicht gelungen, es mit andren gröbern Stücken hervorzubringen. Bei dem Pulver findet noch das merkwürdige statt, daß eine Grube, die man hineindrückt, ihre Gestalt unverändert beibehält. Die Adhäsion der heterogenen Körper nimmt also in hoher Temperatur beträchtlich ab, während zwischen den homogenen Staubtheilen keine merkliche Veränderung eintritt. In beiden Beziehungen ist also der gebauersche Versuch dem leidenfrostischen (Cohärenz der Flüssigen §. 100) gleich.

Coulomb Mém. des Savans étrang. 1785. X. 161—332.

Rennie Phil. Transact. 1829. 143—170.

Morin Mém. prés. à l'Acad. 1833. IV. p. 1 und 593.

Außer diesen umfassenden Arbeiten ist eine große Anzahl kleinerer vorhanden. Ueber die Adhäsion gegen Abreißen, aber mit einem nicht ganz festen Zwischenkörper, siehe Musschenbroek I. p. 394.

II. Vereinigung zweier Körper zu einem Ganzen.

§. 203. Zwischen dem Anhängen zweier Körper an einigen Puncten und eine Verbindung zu einem Ganzen ist keine scharfe Grenzlinie. Blei und andre geschmeidige Substanzen werden durch einen starken Druck vereinigt. Platina wird durch Druck und hohe Temperatur aus einer so lockern Substanz, daß die Zwischenräume die Materie selbst mehrere 100 mal überwiegen, durch bloßes Pressen, ohne die Spur einer Schmelzung, zu einem dichten Körper von 21,0. Zwei Platten Gold und Silber haften mit geringer Stärke an einander, aber bei starkem Drucke vereinigen sie sich so eng, daß man das eine nicht mehr von dem andren lösen kann. Dieses findet sich in allen den Fällen, wo man ein Metall mit einem Blättchen eines andren überzieht, und selbst da, wo dieses anfangs als Pulver aufgetragen wird, findet derselbe Proceß statt. Eine nothwendige Bedingung ist nur die Abwesenheit eines fremden Körpers oder doch eines solchen, der nicht durch den Druck verdrängt oder zerstört wird, und die Handgriffe, die man bei dem Vergolden, Versilbern u. s. w. anwendet, haben z. Th. nur den Zweck, das Metall zu reinigen.

Am genausten ist die Berührung zweier heterogener Körper in den Metallreductionen, wobei bald das reducirende Metall, bald das Gefäß mit einer Metallhaut belegt wird. Die Reduction an

dem reducirenden Metalle oder ihre Fortsetzung an dem reducirten, die Bildung von Metallbäumen, erklärt man durch Galvanismus; aber wie will man dieses Anhängen an Glas erklären? Die chemische Beschaffenheit und der Zustand der Oberfläche der festen Körper spielen dabei vermuthlich eine bedeutende Rolle. Nach einer, jedoch der Bestätigung bedürfenden Angabe von Juch setzt sich das durch Kohle reducirte Gold nur an bleihaltige Gläser; die Adhäsion des Goldes an Bleiglas wäre daher größer, als die an Alkaliglas. Wenn die Ueberzüge nicht bloß an den Wänden des Gefäßes statt finden, sondern auch an andre hineingestellte und für sich chemisch unwirksame Körper, wie man es von dem Glase annimmt, so haben die Versuche keine Schwierigkeit.

Den reducirenden Metallen gleich verhalten sich alle sich bildenden Körper, Salze u. dgl., die oft mit großer Kraft an dem Orte hängen, wo sie entstanden.

§. 204. Zwei oder mehrere Stücke eines homogenen Stoffes, zwischen denen sich fremde Körper ablagern, können dadurch zu einem Ganzen vereinigt werden, dessen Theile mit derselben Kraft zusammenhangen, wie Theile eines Körpers. Glas, das in einer Schale geschliffen ist, und dann trocknet, hängt mit solcher Kraft daran, daß man es, ohne es zu zerbrechen, nicht mehr davon trennen kann, indem die feinen Staubtheilchen Schale und Glas mit einander fest verbinden (Siehe einen ähnlichen, aber in seinen Ursachen verschiedenen Versuch von Airy, Cohärenz der Flüssigen §. 69) Auf dieselbe Weise wird ein Haufen von Salzkrystallen zu einem Ganzen verbunden. Noch auffallender sieht man dieses an den Mörteln. Der einfachste Mörtel ist das Wasser selbst. Wenn es in einer dünnen Schicht zwischen zwei festen Körpern erstarrt, so hängen sie zusammen; wenn es in einer anfangs mit Wasser getränkten Erde erstarrt, so werden die in einer höhern Temperatur lockern Erdtheile zu einer sehr festen Steinmasse, in welche die Bewohner kalter Länder nur mit Axt und Pulver eindringen können.

Bei andren Mörteln ist der Proceß verwickelter. Auch sie bestehen aus einem festen und einem flüssigen Bestandtheile, die mit einander gemengt werden. Die flüssige Masse erstarrt aber nicht durch die Temperatur, sondern durch chemische Processe, an denen Luft und Wasser zuweilen Theil habe, und werden durch zu Stein.

§. 205. Als Mörtel können vielleicht alle Körper dienen. Die

Kohle oder das Kohleneiſen liegt in dem Stahl als ein Mörtel zwiſchen den Eiſentheilen. Eiſen in einen feuchten Boden gelegt, oxydirt ſich an der Oberfläche, dringt in die umgebenden Erdtheile und vereinigt ſie zu einem ſteinartigen, dem Eiſen ſelbſt feſt anhängenden Conglomerat. Kochſalz in hoher Temperatur durch Seeſand geleitet, verbindet dieſe nach J. Hall's Beobachtungen zu einem Stein. Am meiſten hat man ſich mit den Kalk- und Gypshaltigen Mörteln beſchäftigt, welche in der Architectur eine ſo ausgedehnte Anwendung finden, beſonders denen, welche im Waſſer erhärten. Man hat dadurch wol über die zur Mörtelbildung erforderlichen Bedingungen einigen Aufſchluß erlangt; aber bis zu der Erklärung des Proceſſes ſelbſt hat man noch nicht vordringen können. Wie mir ſcheint, ſind zwei Puncte noch nicht gehörig berückſichtigt, die Größe der einzelnen Theile, die den Stein bilden ſollen, und die während der oft viele Tage oder Jahre dauernden Erhärtung ſtatt findende elementare Bewegung. Durch eine zu ſtarke Erhitzung beim Brennen des kohlenſauren Kalkes können z. B. einige Theile ſchmelzen, nnd dadurch vor der Zerſetzung eine Zeitlang geſchützt werden, oder der Aetzkalk ſelbſt bildet ſich nicht zu dem feinen Staube, den man bei der Mörtelbildung erlangt, ſondern zu größern Stücken, welche der fremden Kraft weit ſtärker widerſtehen, als Pulver; und wenn ſie einmal durch die Natur oder durch die Kunſt gebildet ſind, ſo kann ihr Einfluß durch kein mechaniſches Mittel mehr aufgehoben werden.

Außer den eigentlichen Mörteln ſind alle gebrannte Erden auf ähnliche Weiſe entſtanden, und der größte Theil der Geſteine der Erdrinde, ſie mögen in hoher oder in niedriger Temp. gebildet ſein, verdankt ſeine Beſchaffenheit z. Th. demſelben Proceſſe.

Unter den zahlreichen Arbeiten über Mörtel ſind die vorzüglichſten von Vicat und von Fuchs. Ueber die Feſtigkeit der Mörtel haben Vicat, Schübler und Bevan Verſuche gemacht.

Rückblick auf die Cohärenz.

§. 206. Die Kraft, mit der zwei unter ſtarkem Drucke an einander gebrachte Bleicylinder zuſammenhängen, iſt identiſch mit der Haltbarkeit. Die auf Wollaſtons Art bereitete Platinaplatte unterſcheidet ſich in nichts von der, welche durch Hämmern einer geſchmolzenen Kugel entſtanden iſt. Aber die Adhäſionen zwiſchen zwei

mit mehr oder mit weniger merklichem Drucke an einander gebrachten Platten sind wiederum nicht wesentlich verschieden. Die Kräfte sind bloß um so stärker, je größer die sich unmittelbar berührenden Flächen sind. Die Adhäsion zwischen festen homogenen Körpern unterscheidet sich daher von den Erscheinungen der Haltbarkeit bloß dadurch, daß hier die Berührung sich stetig über eine Fläche erstreckt, dort dagegen nur auf einzelne Stellen beschränkt ist.

Dieselbe Gradation findet bei der Berührung heterogener Körper statt. Zwischen den zwei Platten, die auf einander gelegt mit einem kleinen Bruchtheile einer Atmosphäre zusammenhängen, und der Anziehung, zwischen einer Silberplatte und ihrer Vergoldung, der Metallegirung oder dem Steine, deren Verbindung nicht durch 100 Atmosphären zerrissen werden kann, und an Haltbarkeit den homogenen Körpern nicht nachsteht, ist keine scharfe Grenzlinie. Die Adhäsion tritt daher in das Gebiet der gewöhnlichen Haltbarkeit zurück.

§. 207. Als Ursache sämmtlicher der Festigkeit angehörigen Erscheinungen haben wir die Krystallisation erkannt, durch welche die Theile eines festen Körpers nach verschiedenen Richtungen mit ungleichen Kräften wirken. Zwar liegen in den zu den Versuchen über die Festigkeit geeigneten Körpern die Theile meistens so regellos, daß man die mittlere Richtung der Kräfte im Körper nach allen Seiten gleich annehmen kann. Aber für jedes einzelne Theilchen, dessen Lage durch die äußere Kraft geändert wird, findet diese Gleichheit nicht statt, und hier bildet sich nicht nur ein Widerstand gegen die Trennung überhaupt, sondern auch eine den Veränderungen in der Lage der Theile widerstrebenden Kraft (Siehe Krystallogenie und Elementarbewegungen).

Der Gedanke, daß die Krystallisation die Ursache der Festigkeit sei, ist schon von Bernhardi Gehlen Journ. VIII. p. 374 angedeutet und späterhin von mehreren wiederholt. Man meinte gewöhnlich, ohne in die Art, wie die Krystallisation auf die Festigkeit einwirken könne, einzugehen, daß aus der Krystallisationskraft eine Reibung hervorgehe, welche die Verschiebung der Theile hindere. Die Kraft ist aber nicht eine Reibung, welche die Bewegung bloß hindert, sondern sie erzeugt auch Bewegungen. Ich hoffe den Zusammenhang zwischen der Cohärenz und den Kräften im Krystall durch meine Darstellung anschaulicher gemacht zu haben.

§. 208. Bei den flüssigen Körpern ist die Intensität der

Cohäsionskraft, wenn sie durch die Spannkraft und vielleicht selbst durch die Cohärenz gemessen wird (Siehe Cohärenz der Flüssigen §. 86, die starke Anziehung des Queckſilbers an die innere Kuppe einer Glasröhre), nicht viel kleiner als bei den festen. Aber sie ändern ihre Gestalt, ohne einen beträchtlichen Widerstand zu leisten, und kommen dadurch in eine Form, welche die gänzliche Trennung ihrer Theile erleichtert. Beinahe wie ein weiches Eisenstück von einem dehnenden Gewicht erst verdünnt wird, und dann von einem kleineren Gewichte zerrissen werden kann, als hartes Eisen; obgleich beide im Momente der Trennung eine gleiche starke Tragkraft besitzen. Die festen Körper unterscheiden sich daher von den flüssigen nicht so sehr in der Größe, als in der Vertheilung ihrer Kräfte, und es ist möglich, daß ihre mittleren Cohäsionen in der Temperatur des Schmelzens von einander nur um die Größe verschieden sind, welche einer der latenten Wärme entsprechenden Temperatur-Differenz entspricht.

§. 209. Ein Mittelglied zwischen der Cohäsion der festen und derjenigen der flüssigen Körper ist die Prosaphie zwischen Flüssigem und Festem. Hier verhalten sich, wie ich gezeigt habe, beide Körperklassen einander vollkommen gleich. Die Unterlage von Queckſilber unterscheidet sich von einer fest metallischen nur durch ihre Glätte. Es ist zu bedauern, daß durch keinen Versuch entschieden ist, wie die nicht homogenen Flächen eines Krystalls sich in der Prosaphie verhalten. Aber bei der Ungleichförmigkeit ihrer Erscheinungen gegen alle physikalischen Agentien ist auch in dieser Beziehung eine Verschiedenheit wahrscheinlich.

§. 210. Vielleicht kann man die Cohäsions-Erscheinungen bei festen und bei flüssigen Körpern auf folgende Weise auffassen:

Die Gase sind ohne Cohäsion. Sobald sie aber fest oder flüssig werden, erlangen die Theile eine Kraft, die jeder Veränderung der Dichtigkeit widerstrebt. Sie ist von der Temperatur abhängig und fällt, wenn diese steigt. Bei Flüssigem ist sie nach jeder Richtung hin gleich, durch das Erstarren oder Krystalliſiren wird sie nach bestimmten Gesetzen nach verschiedenen Richtungen ungleich und erzeugt secundäre Kräfte, welche einerseits die Abnormität zulassen, andrerseits sie allmälig aufheben und die Erscheinungen der Festigkeit bedingen.

Im Innern einer im Gleichgewichte befindlichen Flüssigkeit oder

eines normalen gleichförmigen Krystalls ruht die Cohäsionskraft. In jedem Theilchen wird sie durch die der benachbarten gebunden. An der Oberfläche aber ist sie frei, und wirkt auf jeden Körper, der mit dieser in Berührung kommt. Ist es eine gleichartige Flüssigkeit, so vereinigen sich beide zu einem Ganzen, sind es ungleichartige, oder ist einer von beiden Körpern fest, so treten von den freien Kräften beider Oberflachen abhängige Prosaphien auf. Ist es ein gleichartig fester Körper, so streben beide sich die homologe Richtung zu zuwenden. Ist es ein erst erstarrender Körper, so bestimmt der schon gebildete die Lage der Cohäsionsrichtung in dem andren, wie ein Magnet die magnetisch gewordenen Theilchen eines andren Magneten sich parallel zu stellen sucht, und in einem unmagnetischen, aber des Magnetismus fähigen Körper, den Magnetismus selbst so erregt, daß seine Lage der im ersten Körper parallel ist.

§. 211. Ich habe hier den Magnetismus nur als Beispiel genannt. Oder findet eine innere Beziehung zwischen Magnetismus und Cohäsion statt? Schon Kirwan wurde durch die gleichzeitig statt findenden magnetischen und cohäsiven Kräfte im Eisen auf jene Ansicht geführt. Die deutsche Naturphilosophie hat sie weiter ausgebildet. Ich selbst habe in diesem Werke jeden Berührungspunct zwischen Cohäsion und Magnetismus hervorgehoben. Die Unterschiede der Kräfte in ungleichen Richtungen des Krystalls, besonders in den hemiedrischen mit geneigten Flächen, wie Quarz, Turmalin u. a. könnten auch Polarität genannt werden, und die Polarität im Krystall würde die im Magnet noch an innerer Mannigfaltigkeit weit übertreffen. Oder wäre auch hier Polarität nur ein leeres Wort, wie so oft in der Physik? Ich könnte noch den Zusammenhang aufsuchen, der zwischen der Cohäsion und den Mischungs-Volumen statt findet, d. h. dem Verhältniß der Räume, die ein Mischungsgewicht verschiedener Stoffe einnimmt, die Verhältnisse der Cohäsion zum Lichte, besonders zur Wärme u. s. w., allein ich fürchte in diesem Werke mich schon zu sehr in Hypothesen vertieft habe. In einer langen Reihe von Sätzen, wo jedes Glied im Verhältniß zu dem vorhergehenden einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit besitzt, wird doch bei jedem neuen Schritte die Ungewißheit größer, und die Spitze der Pyramide hat eine weit geringere Festigkeit als ihre Basis.